



太阳能光伏系统概论

车孝轩 著

武汉大学出版社

前 言

21 世纪人类的文明正面临环境污染、能源短缺等诸多问题。近年来,由于煤炭、石油等化学燃料的使用,产生了大量的二氧化碳、二氧化硫,出现了温室效应、酸雨等问题,使森林等环境受到严重破坏,直接威胁到人类自身的生存与安全。随着经济的发展、人口的增加,对能源的需求不断增加,对化学燃料的开采与使用也就越来越多,导致化学燃料短缺、环境遭受污染和破坏。因此,解决经济发展、能源需求与环境污染是摆在人类面前的迫切问题,然而利用新的、可再生能源可以解决这些问题。太阳能光伏发电的利用就是其中之一。

太阳的半径约为 6.96×10^5 公里,它离地球约为 1.5×10^8 公里。太阳释放巨大的能量,每秒有 40 兆 kcal 的能量传到地球。太阳的寿命至少还有几十亿年,因此对于地球上的人类来说,太阳能是一种能量巨大、无限、清洁的能源。如果直接将太阳的能量变成电能,为人类提供充足的能源,对人类来说是一件多么幸运的事。

我国于 2005 年 2 月 28 日通过的《中华人民共和国可再生能源法》,为我国可再生能源的发展提供了良好的机遇,国家计划到 2010 年使可再生能源的应用达到 1 兆吨标准煤,相当于我国总消费能源的 5%。为了实现近期目标和长远目标,国家将会大力发展可再生能源,这为太阳能光伏发电技术的发展提供了难得的机遇。

我国的太阳能光伏发电在民用、工业以及产业上的应用处于起步阶段,为了满足从事太阳能光伏发电的科技工作者、大专院校师生以及太阳能发电爱好者的需要特编写了此书。本书介绍了国内外太阳能光伏发电方面的最新技术、最新成果,内容包括太阳能、各种太阳电池、太阳电池组件、太阳能光伏系统的种类及系统电气设备、太

太阳能光伏系统的设计、应用、安装、检查与试验以及太阳能光伏系统的课题与将来的展望等,可作为大专院校的教材、科技工作者、太阳能爱好者使用的参考书。

车孝轩

2005 年 2 月



目 录

第1章 总 论	1
1.1 能源与需求	1
1.2 能源与环境	2
1.3 世界能源资源的可开采年数	3
1.4 太 阳 能	4
1.5 太阳能利用的形式	4
1.6 太阳能发电	5
1.7 太阳能发电的现状	5
1.8 太阳能发电的未来	8
第2章 太 阳 能	10
2.1 太阳能资源	10
2.2 太阳能量的衰减	11
2.3 地表面太阳能量的分布	12
2.4 直达日射、散乱日射与全天日射	14
2.5 日 射 诸 量	16
2.6 太阳光频谱	16
2.7 各种太阳电池的分光感度特性	18
2.8 日射量的分布	20
2.9 太阳能的利用	22
第3章 太 阳 电 池	23

3.1	太阳电池的特点	23
3.2	太阳电池的发电原理及构造	24
3.3	太阳电池的种类	28
3.3.1	单晶硅太阳电池	29
3.3.2	多晶硅太阳电池	29
3.3.3	非晶硅太阳电池	30
3.3.4	化合物太阳电池	31
3.3.5	有机太阳电池	32
3.3.6	薄膜太阳电池	33
3.3.7	透明太阳电池	35
3.3.8	混合型太阳电池 (HIT 电池)	37
3.3.9	球状太阳电池	38
3.3.10	层积型太阳电池	39
3.4	太阳电池的特性	40
3.4.1	太阳电池的输入输出特性	40
3.4.2	太阳电池的分光感度特性	45
3.4.3	太阳电池的照度特性	46
3.4.4	太阳电池的温度特性	48
3.5	太阳电池的制造方法	48
3.5.1	单晶硅太阳电池的制造方法	48
3.5.2	多晶硅太阳电池的制造方法	49
3.5.3	非晶硅太阳电池的制造方法	50
3.5.4	化合物半导体太阳电池的制造方法	51
第4章	太阳电池组件	52
4.1	太阳电池单元、组件	52
4.2	太阳电池组件及其构造	53
4.2.1	背面衬底型组件	53
4.2.2	表面衬底型组件	53
4.2.3	填充型组件	54

4.2.4 衬底一体表面衬底型组件	55
4.3 太阳能电池组件的种类	56
4.3.1 一般的直流出力太阳能电池组件	56
4.3.2 建材一体型太阳能电池组件	57
4.3.3 采光型太阳能电池组件	64
4.3.4 新型太阳能电池组件	67
4.4 建材一体型太阳能电池组件的应用	70
4.4.1 太阳能光伏系统在住宅方面的应用	70
4.4.2 太阳能光伏系统在公共设施方面的应用	72
第5章 太阳能光伏系统概要	75
5.1 太阳能光伏系统的种类及用途	75
5.2 独立系统	77
5.2.1 独立系统的用途	77
5.2.2 独立系统的构成及种类	78
5.3 并网系统	80
5.3.1 有逆流并网系统	80
5.3.2 无逆流并网系统	81
5.3.3 切换式并网系统	81
5.3.4 自立运行切换型太阳能光伏系统(防灾型)	82
5.3.5 直、交流并网型太阳能光伏系统	83
5.3.6 地域并网型太阳能光伏系统	83
5.4 混合系统	86
5.4.1 光、热混合太阳能光伏系统	86
5.4.2 太阳能光伏、燃料电池系统	87
5.5 小规模新能源电力系统	88
第6章 太阳能光伏系统的基本构成	90
6.1 太阳能光伏系统的特点	90
6.2 太阳能光伏系统的基本构成	91

6.3	太阳电池单元、组件及阵列	92
6.3.1	太阳电池单元	92
6.3.2	太阳电池组件	92
6.3.3	太阳电池阵列	93
6.3.4	太阳电池阵列的电路构成	94
6.4	功率调节器	95
6.4.1	逆变器	97
6.4.2	逆变器的绝缘方式	107
6.4.3	滤波器	110
6.4.4	系统并网保护装置	110
6.4.5	单独运行检测	111
6.4.6	一种新型的太阳能发电用功率调节器	115
6.4.7	功率调节器的多功能化	116
6.5	其他设备	117
第7章	太阳能光伏系统的设计	120
7.1	太阳能光伏系统设计的诸因素	120
7.1.1	太阳能光伏系统设计时的调查	120
7.1.2	太阳能光伏系统设置的用途、负载情况	121
7.1.3	系统的类型、构成的选定	121
7.1.4	设置场所、设置方式的选定	122
7.1.5	太阳电池的方位角、倾斜角的选定	123
7.1.6	可设置的面积	123
7.1.7	太阳电池阵列的设计	124
7.2	太阳能光伏系统的设计步骤	124
7.3	太阳能光伏系统设计方法概要	125
7.3.1	参数分析法	126
7.3.2	计算机仿真法	130
7.4	独立型太阳能光伏系统的设计	133
7.4.1	使用参数分析法设计独立型太阳能光伏系统	134

7.4.2 使用计算机仿真方法设计独立型太阳能光伏系统·····	144
7.5 住宅用太阳能光伏系统的设计·····	145
7.5.1 设计步骤·····	146
7.5.2 设计条件·····	147
7.5.3 太阳电池阵列的设计·····	147
7.6 太阳能光伏系统成本核算·····	148
第8章 太阳能光伏系统的应用·····	150
8.1 民用太阳能光伏系统·····	150
8.1.1 太阳能计算器·····	150
8.1.2 太阳能钟表·····	151
8.1.3 太阳能充电器·····	152
8.1.4 交通指示用太阳能光伏系统·····	153
8.1.5 防灾、救助太阳能光伏系统·····	154
8.1.6 其他应用·····	154
8.2 住宅用太阳能光伏系统·····	156
8.3 大楼用太阳能光伏系统·····	157
8.4 集中并网型太阳能光伏系统·····	160
第9章 太阳能光伏系统的安装·····	161
9.1 太阳电池的设置场所、安装方式概要·····	161
9.2 住宅用太阳能光伏系统屋顶安装方法·····	161
9.2.1 屋顶安装型太阳电池阵列·····	162
9.2.2 紧拉固定线方式·····	163
9.2.3 支撑金具方式·····	163
9.2.4 建材一体型太阳电池组件的安装方法·····	163
9.3 电气设备的安装、配线以及接地·····	165
9.3.1 电气设备的安装·····	165
9.3.2 太阳电池组件与功率调节器之间的配线·····	166
9.3.3 功率调节器与分电盘之间的配线·····	166

9.3.4	太阳电池阵列的检查	167
9.3.5	接地施工	167
9.3.6	防雷措施	167
第10章 太阳能光伏系统的检查与试验		169
10.1	太阳能光伏系统的检查种类	169
10.2	太阳能光伏系统的检查	170
10.3	太阳能光伏系统的试验方法	171
10.3.1	绝缘电阻试验	171
10.3.2	绝缘耐压试验	172
10.3.3	接地电阻试验	173
10.3.4	太阳电池阵列的输出试验	174
10.3.5	系统并网保护装置试验	174
第11章 太阳能发电的课题与未来展望		175
11.1	太阳电池的转换效率的课题	175
11.2	降低电气设备成本的课题	176
11.3	太阳能发电的未来展望	176
11.3.1	转换效率	176
11.3.2	新型太阳电池	177
11.3.3	新型背面衬底型太阳电池组件	177
11.3.4	降低太阳电池阵列的价格	177
11.3.5	太阳电池组件的产业化	177
11.3.6	地球规模的太阳能发电系统	178
11.3.7	宇宙太阳能发电	179
参考文献		181



第1章 总 论

随着我国经济的快速发展,对能源的需求越来越大。同时,大量化学燃料的使用,导致能源的迅速短缺与环境污染日益突出。近年来由于人们对能源、环境问题的日益关注,太阳能的应用与普及越来越受到人们的高度重视。因此,清洁、可再生的新能源的应用已成为必然的趋势。

本章主要介绍能源与需求、人口、环境之间存在的问题,可供开采的能源资源,以及对太阳能发电的现状与未来的展望。

1.1 能源与需求

能源是人类赖以生存的基础,从日常生活所必需的电、水、气到人们所利用的交通、通信、娱乐等都与能源息息相关。人类为了生存除了要吃饭获取能源之外,还要利用诸如石油、煤炭、电能等能源。在现代社会中,随着世界人口的增加,能源的需求也在不断地增加。其中电能也是如此,从图 1.1 可以看出,从 1960 年到 2000 年的 40 年间,人口从 30 亿增加到了 61 亿,即人口在 40 年间增加了约一倍,能源需求在过去的 30 年间增加了一倍。而电力能源从上世纪开始,在总能源需求中的比重增加较快,从世界的平均水平来看,每 20 年约增加一倍。因此,随着世界人口的不断增加,电能的需求也在不断地增加,特别是人类进入 21 世纪高度信息化社会后更是如此。

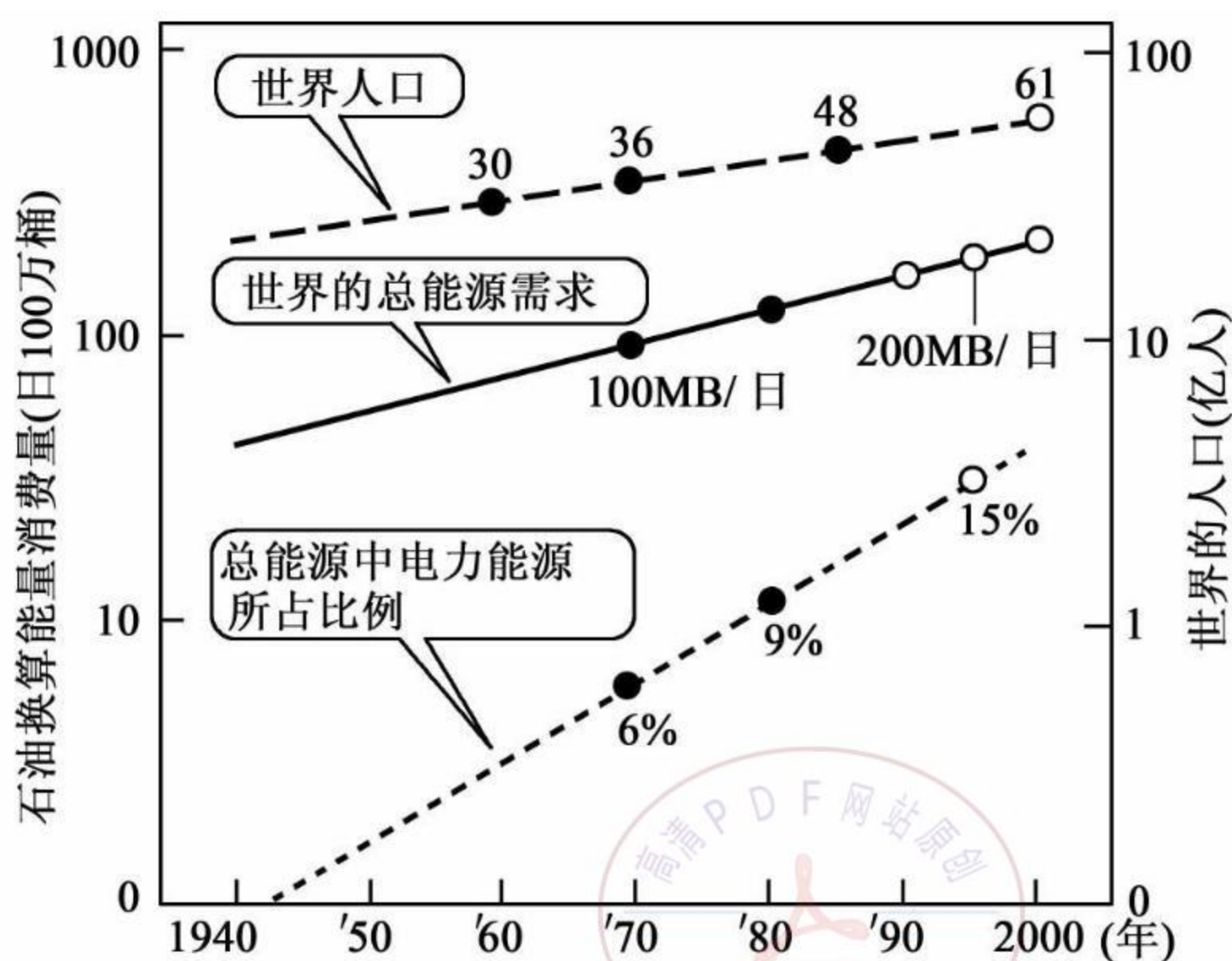


图 1.1 世界的人口、总能源需求以及电能

1.2 能源与环境

能源问题可以追溯到 50 万年前人类发现火的时代。人类使用石油、煤炭作为能源也已有相当长的历史了。这些能源虽然为人类的生存和发展以及社会的进步提供了很大的支持，但这些能源的使用同时也给人类自身带来了很大的问题，使地球的环境如：空气、气候等受到了很大的影响，已经直接危及人类的生活、生存条件。因此必须解决使用化学燃料给人类带来的问题。

环境问题主要表现为地球温室效应和酸雨。地球温室效应是由于二氧化碳、氟里昂等温室效应气体使地球吸收的太阳能量不易散发到大气圈所致，使地球的温度在最近 100 年里上升了约 1°C 。二氧化碳是由于使用化学燃料而产生的。化学燃料除了产生二氧化碳外，还排出硫磺氧化物、氮氧化物等，由此形成酸雨。

21 世纪人类的文明如何发展,面临诸多的问题。人口的增加、经济的发展必然会导致能源的需求增加。化学燃料的开采与使用,一是会出现化学燃料的短缺,二是化学燃料的使用必然会导致环境的污染、破坏,即经济(Economy)的发展使能源(Energy)的需求增加,从而导致环境问题(Environment Problem)出现。三者之间形成一个链环,要想独立解决其中的任何一个问题并非易事。解决这些问题的办法之一是尽量减少化学燃料的消费,大力推广如太阳能等清洁能源的应用。

1.3 世界能源资源的可开采年数

现代社会一直以化学燃料作为能源,随着工业化、文明化以及人口的增加,能源需求正在大幅度地增加。图 1.2 所示为世界能源资源的可开采年数。由图可知,以后的几十年到 200 年左右资源将会枯竭,可见人类所利用的石油、天然气、煤炭等资源的开采量是有限的。根据估算,石油的开采年数大约为 39 年,煤炭的开采年数大约为 230 年,天然气为 57 年,铀 235 为 67 年。因此,为了维持人类的生存与发展,寻找替代能源以解决未来人类对能源的需求已成燃眉之急。

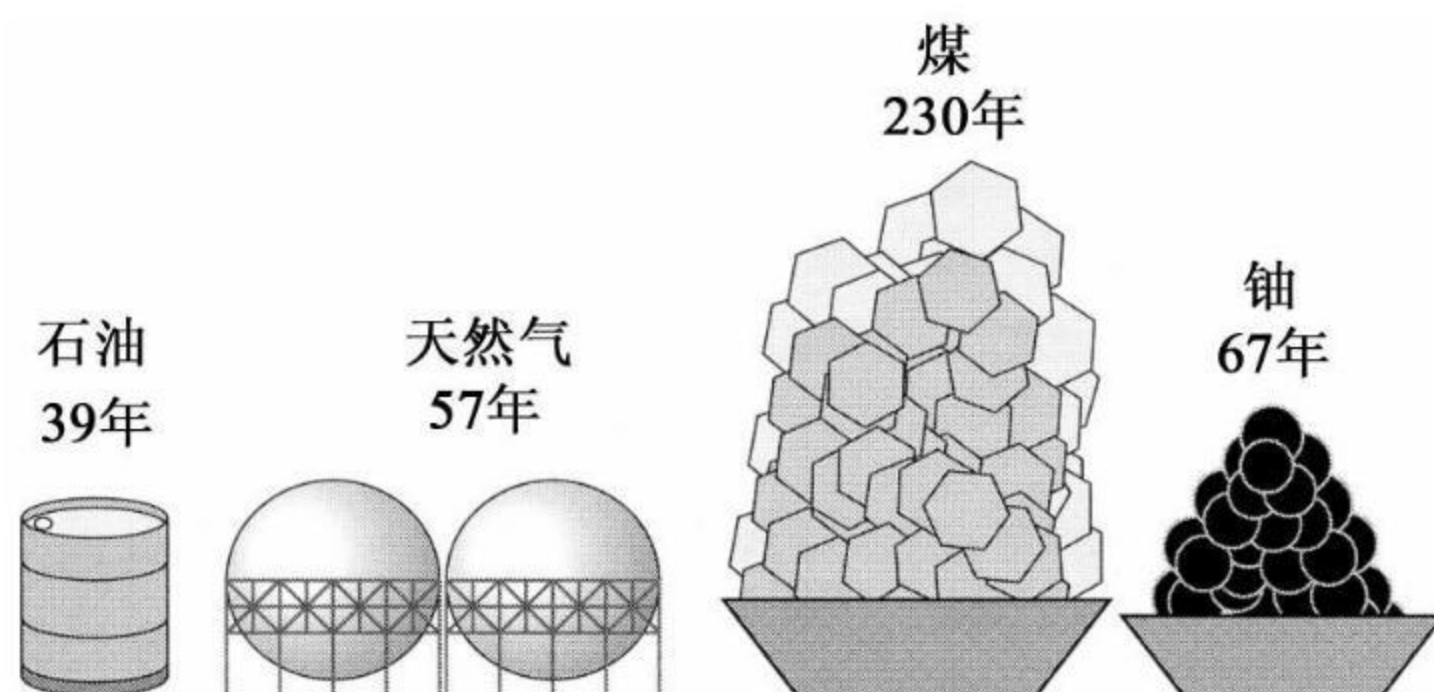


图 1.2 世界能源资源的可开采年数

1.4 太 阳 能

太阳能是由太阳的氢经过核聚变而产生的一种能源。在它的表面所释放出的能量如果换算成电能则大约为 3.8×10^{19} MW。到达地球的能量中约 30% 反射到宇宙,剩下的 70% 的能量被地球接收。太阳照射地球一个小时的能量相当于世界一年的总消费能量。可见来自太阳的能量有多么巨大。

人们推测太阳的寿命至少还有几十亿年,因此对于地球上的人类来说,太阳能是一种无限的能源。另外,太阳能不含有害物质,不排出二氧化碳,即使地域不同也不会出现不均匀性。

可见太阳能具有能量巨大、非枯竭、清洁、不存在不均匀性问题等特点,作为未来的能源是一种非常理想的清洁能源。如果合理地利用太阳能,将会为人类提供充足的能源。

1.5 太阳能利用的形式

如上所述,由于能源需求、人口的增加、环境污染以及可供开采的能源资源的减少等问题,人们不得不寻求解决这些问题的办法,而利用清洁、可再生的能源可以解决这些问题。太阳能的利用就是其中之一。

太阳能利用的形式多种多样,如热利用、照明、电力等。热利用就是将太阳能转换成热能,供热水器、冷热空调系统等使用。利用太阳光给室内照明,或通过光导纤维将太阳光引入地下室等进行照明。在电力方面的应用主要是利用太阳的热能和光能。一种是利用太阳的热能进行发电,这种方法是利用聚光得到高温热能,将其转换成电能的发电方式。另一种是利用太阳的光能进行发电,即利用太阳能电池将太阳的光能转换成电能的发电方式。其他方面的应用有:使用太阳的热能和光能,通过催化作用经过化学反应制造氢能、甲醇等燃料,这种能源直接利用方式的效率较高。另外,使用光催化的涂料可

以分解有害物质。

1.6 太阳能发电

利用太阳电池发电是基于从光能到电能的半导体特有的量子效应原理。太阳能发电(这里主要指利用太阳的光能)所使用的能源是太阳能,而由半导体器件构成的太阳电池是太阳能发电的重要部件。太阳电池可以利用太阳的光能,将光能直接转换成电能,以分散电源系统的形式向负载提供电能。

太阳能发电具有如下的特点:

1. 在利用太阳能方面
 - 1) 能量巨大、非枯竭、清洁;
 - 2) 到处存在、取之不尽、用之不竭;
 - 3) 能量密度低、出力随气象条件而变;
 - 4) 直流电能、无蓄电功能。
2. 将光能直接转换成电能方面
 - 1) 阴天、雨天可利用散乱光发电;
 - 2) 结构简单、无可动部分、无噪音、无机械磨损、管理和维护简便、可实现系统自动化、无人化;
 - 3) 可以阵列为单位选择容量;
 - 4) 重量轻、可作为屋顶使用;
 - 5) 制造所需能源少、建设周期短。
3. 构成分散型电源系统
 - 1) 适应发电场所的负载需要、不需输电线路等设备;
 - 2) 适应昼间的电力需要、减轻峰电;
 - 3) 电源多样化、提供稳定电源。

1.7 太阳能发电的现状

太阳能发电正得到越来越广泛的应用,应用范围已遍及民用、住

宅、产业等众多领域。2004 年世界的太阳电池生产量已达到 1194.7MW,2004 年世界的太阳能光伏系统的安装量为 2596MW。

1. 全世界太阳电池累计生产量

图 1.3 为世界的太阳电池累计生产量,由曲线可见,生产量呈指数函数增加。1994 年世界的太阳电池累计生产量为 69.4MW,2004 年为 1194.7MW,是 10 年前的 17.2 倍。毫无疑问,未来 10 年全世界太阳电池生产量将会显著增加。

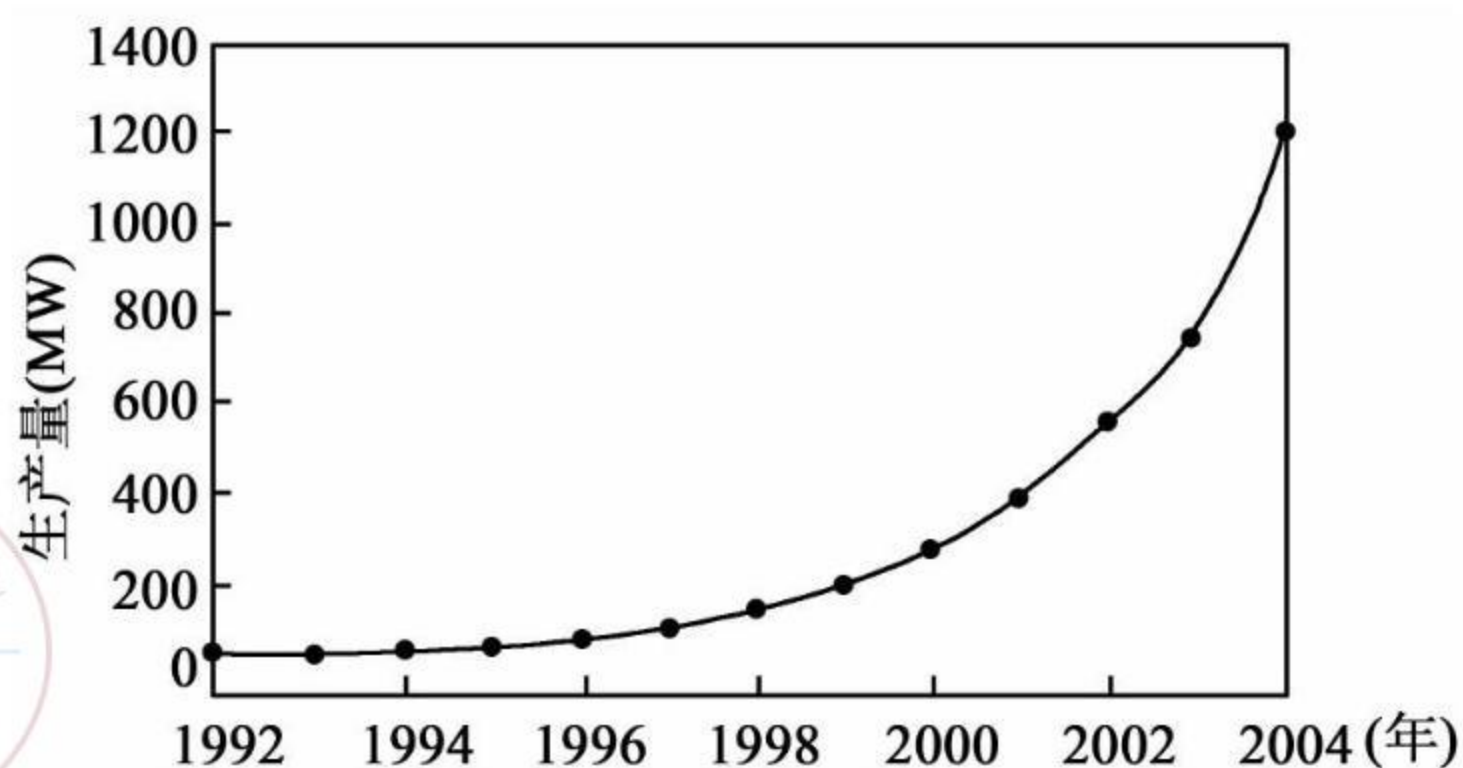


图 1.3 全世界的太阳电池累计生产量

2. 全世界不同种类太阳电池的生产量

图 1.4 为结晶硅系全世界太阳电池生产量。从图可以看出,1996、1997 年的单晶硅电池的生产量增加较快,约占结晶硅系太阳电池生产量的一半。但由于多晶硅电池单元为四角形,可有效地利用平板的采光面积,加之制造成本降低等因素的影响,1998 年以后多晶硅电池的生产量增加很快,超过单晶硅电池的生产量。2001 年的单晶硅电池的生产量约占结晶硅系太阳电池生产量的 30%,与 1997 年相比有了明显下降。另外,单、多晶硅电池的生产量约占世界的太阳电池生产量的 80%。可见,目前结晶硅系太阳电池仍占主流。

图 1.5 为世界不同种类太阳电池的生产量。2002 年的单晶硅、多晶硅以及非晶硅太阳电池的生产量为 457MW,占太阳电池总生产

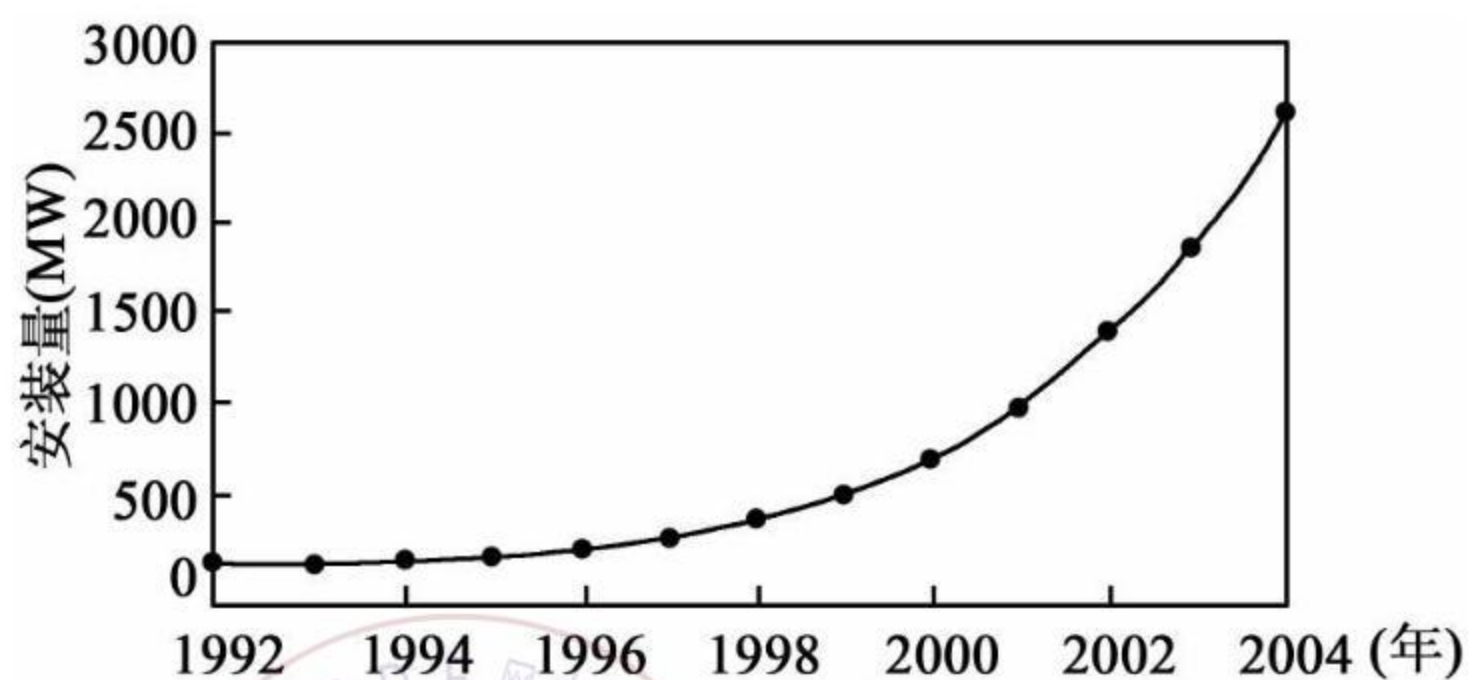


图 1.4 结晶硅系全世界太阳电池生产量

量的 89% 以上。

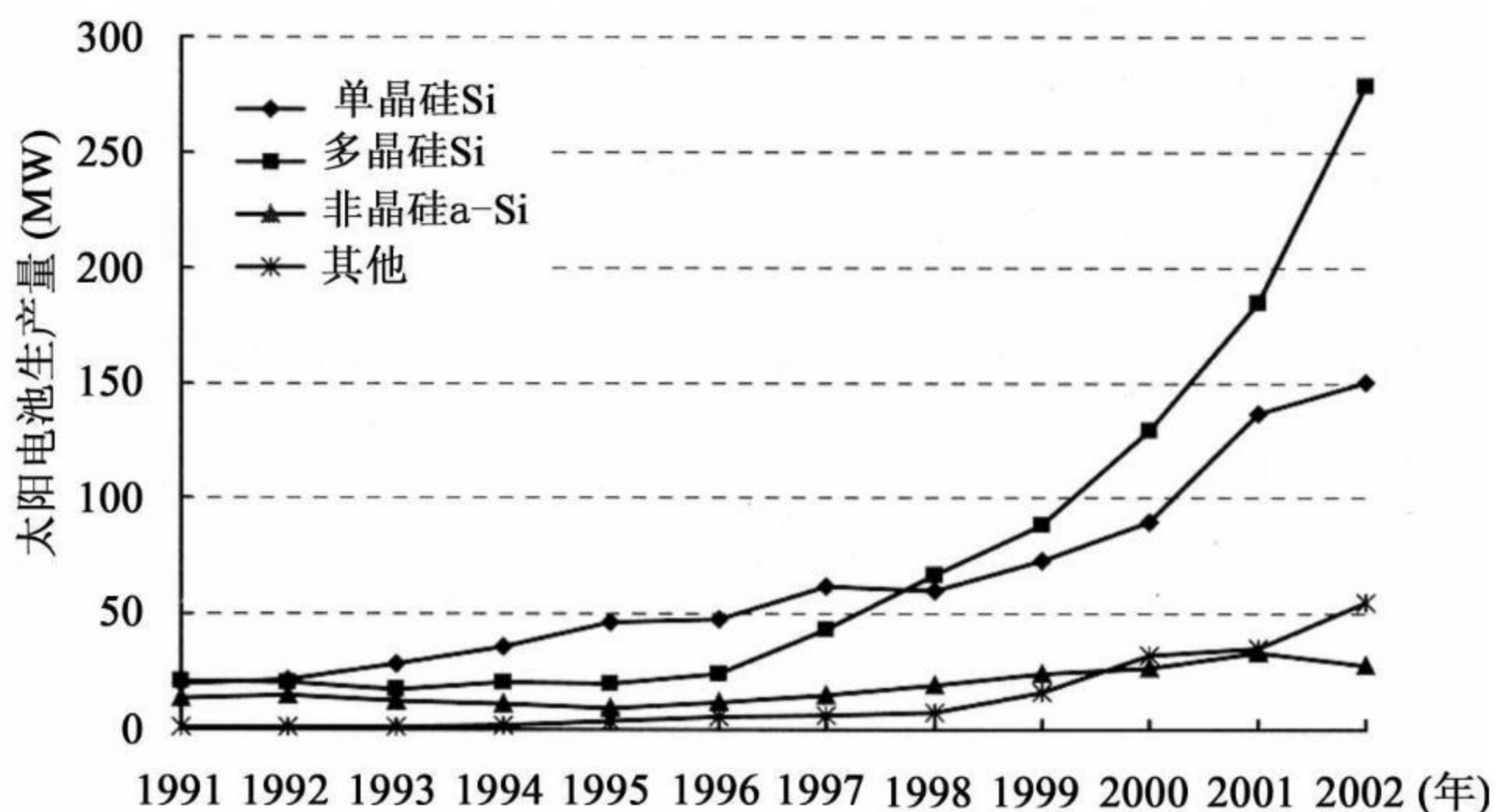


图 1.5 全世界不同种类太阳电池的生产量

3. 全世界太阳能光伏系统的累计安装量

图 1.6 为全世界太阳能光伏系统的累计安装量。1994 年为 163.8MW, 2004 年为 2596MW, 10 年间增加了约 15.85 倍, 最近 3 年太阳能光伏系统的安装量每年以约 38% 的速度增加。可以预料, 今后 10 年太阳能光伏系统的安装量将会快速增加, 随着太阳能光伏系统的应用与普及, 将会出现配电系统局部集中太阳能光伏系统并网

的情况。

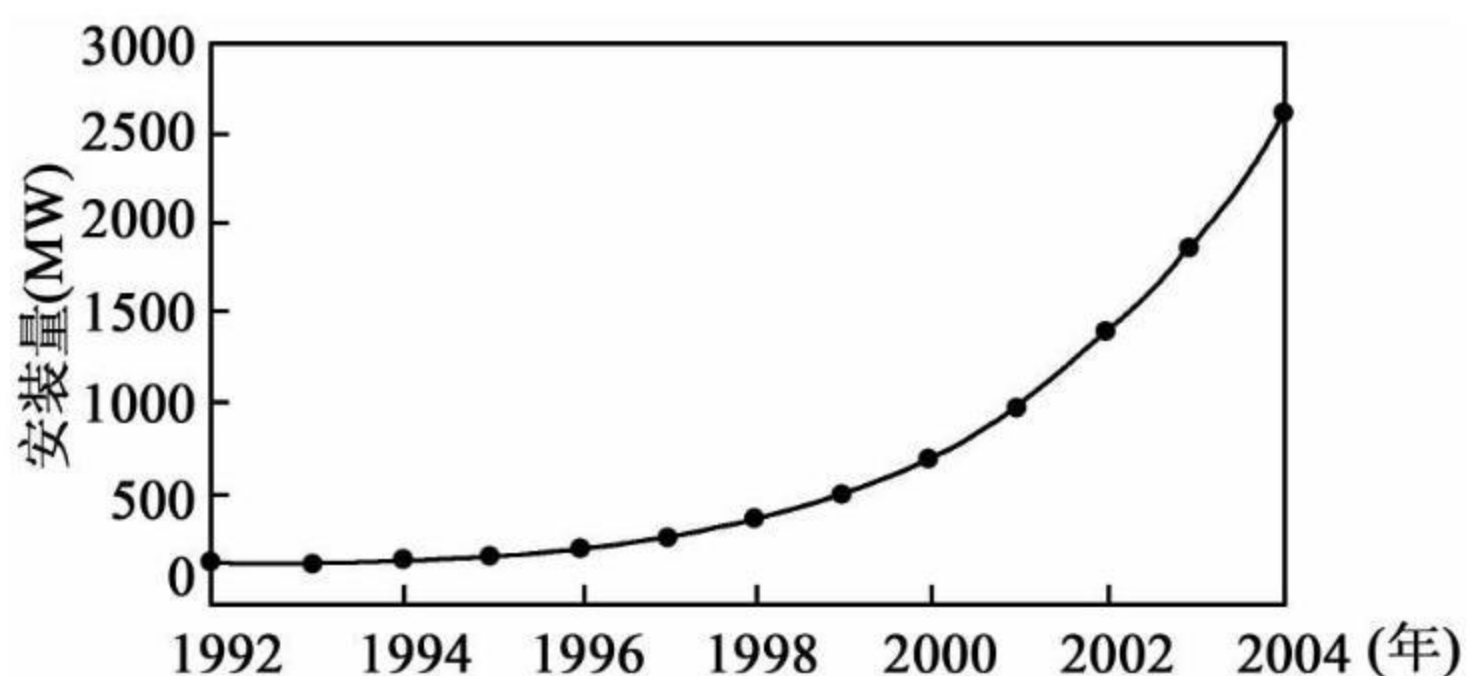


图 1.6 全世界太阳能光伏系统的累计安装量

1.8 太阳能发电的未来

1. 拥有自己的发电站

太阳能发电有着广阔的发展前景,应用领域也在不断扩大。将来,家庭可以拥有自己的发电站,只要将太阳能与燃料电池组合就可以实现。

2. 变加油站为氢能站

由于燃料电池可能成为未来主要的能源供给方式,如家庭用燃料电池发电、燃料电池汽车、燃料电池充电器等,因此太阳能发电还可以用来制造氢能,变现在的加油站为氢能站,为燃料电池提供清洁、廉价的氢能源。

3. 小规模电力系统的诞生

小规模电源系统由新的、可再生的新能源发电系统(包括太阳能光伏系统、风力发电、小型水力发电、燃料电池发电、生物质能发电等)、氢能制造系统、电能存储系统、负载等与地域配电线相连构成,成为一个独立的小规模电力系统。氢能制造系统用来将地域内的剩余电能转换成氢能,当发电系统所产生的电能以及电能存储系统的电能不能满足负载的需要时,通过燃料电池发电为负载供电。可以

预料,小规模电力系统与大电力系统同时共存的时代必将到来,这将会使现在的电力系统、电源的构成等发生很大的变化。

4. 地球规模的太阳能发电系统

太阳能发电有许多优点,但也存在一些弱点。例如,太阳电池在夜间不能发电,雨天、阴天发电量会减少,无法保证稳定的电力供给。随着科学技术的发展、超电导电缆的发明与应用,将来有望实现地球规模的太阳能发电系统。即在地球上各地分散设置太阳能发电站,用超电导电缆将太阳能发电站连接起来形成一个网络,从而构成地球规模的太阳能发电系统。该系统可将昼间地区的电力输往太阳能发电系统不能发电的夜间地区使用。若将该网络扩展到地球的南北方向,无论地球上的任何地区下雨或在夜间,都可以从其他地方得到电能。可以使电能得到可靠的供给、合理的使用。当然,实现这一计划还面临许多问题。从技术角度看,需要研究开发高性能、低成本的太阳电池以及常温下的超电导电缆等。

5. 宇宙太阳能发电系统

在地球上应用太阳能时,太阳能的利用量受太阳电池的设置经纬度、昼夜、四季等日照条件的变化、大气以及气象状态等因素的影响而发生很大的变化。另外,宇宙的太阳光能量密度比地球上高1.4倍左右,日照时间比地球上长4~5倍,发电量比地球上高出5.5~7倍。

为了克服地面上发电的不足之处,人们提出了宇宙太阳能发电(SSPS)的概念。所谓宇宙太阳能发电,是将位于地球上空36 000km的静止轨道上的宇宙空间的太阳电池板展开,将太阳电池发出的直流电能转换成微波,通过输电天线传输到地球或宇宙都市的受电天线,然后将微波转换成直流或交流电能供负载使用。宇宙太阳能发电由数千MW的太阳电池、输电天线、受电天线、电力微波转换器、微波电力转换器以及控制系统等构成。

第2章 太 阳 能

太阳能是由太阳的氢经过核聚变而产生的一种能源。太阳寿命长,是一种无限的能源;太阳能不含有害物质、不排出二氧化碳,是一种清洁的能源;可见太阳能能量巨大,具有非枯竭、清洁等特点,是一种非常理想的能源。

太阳能光伏系统利用太阳的光能发电,发电功率、转换效率等与太阳能的一些特点、性质密切相关。本章介绍太阳能资源、太阳光的性质、直达以及散乱光、太阳光的频谱、分光感度特性、日射量的分布以及太阳能的应用领域等内容。

2.1 太阳能资源

太阳是一颗位于离银河系中心约 3 万光年位置的恒星,半径约为 6.96×10^5 公里,质量大约为 1.99×10^{30} 公斤,分别为地球的 108 倍、33 万倍。太阳的中心温度大约为 1400 万 K,表面温度约为 5700K,离地球的距离约为 1.5×10^8 公里。

太阳能是由太阳的氢经过核聚变而产生的一种能源。当 4 个氢原子经过融合变成一个氦原子核时,经过核聚变反应从而释放出相当于 3.8×10^{19} MW 的巨大电能。人们推测太阳的寿命至少还有几十亿年以上,因此对于地球上的人类来说,太阳能是一种无限的能源。

人类从地面所能采集到的能源中,来自太阳的能源约占 99.98%,剩下的 0.02% 为地下热能。太阳能可转换成 1.77×10^7 MW 的电能,相当于目前世界平均消费电能的几十万倍。

2.2 太阳能量的衰减

太阳表面放射出的能量通过约 1 亿 5000 万公里的宇宙到达地球的大气圈外时,与太阳光垂直的面上的太阳辐射能量密度约为 1.395kW/m^2 ,此值称为太阳常数 (Solar Constant)。太阳常数是指当地球与太阳处在平均距离的位置时,在大气层的上部与太阳光垂直的平面上,单位面积的太阳辐射能量密度。一般采用 1964 年国际地球观测年 (IGY) 所决定的值,即太阳常数的值为 1.382kW/m^2 。

实际上,地球上不同地点的太阳光的强度是不同的,与所在地的纬度、时间、气象条件等有关。即使是同一地点,正南时的直射日光也随四季的变化而不同。也就是说由于大气导致太阳光减少的比例与大气的厚度有关,定量地表示大气的厚度的单位称为大气圈通过空气量 (又称大气质量),即用通过空气量 (Air Mass, AM) 来表示。如图 2.1 所示,用由天顶垂直入射的通过空气量作为标准,即太阳高度正当头 (90°) 时为 1 (太阳到地面的垂直距离的相对值),假定太阳光度角为 $h(^{\circ})$,通过空气量 AM 由下式计算:

$$AM = 1/\sin h$$

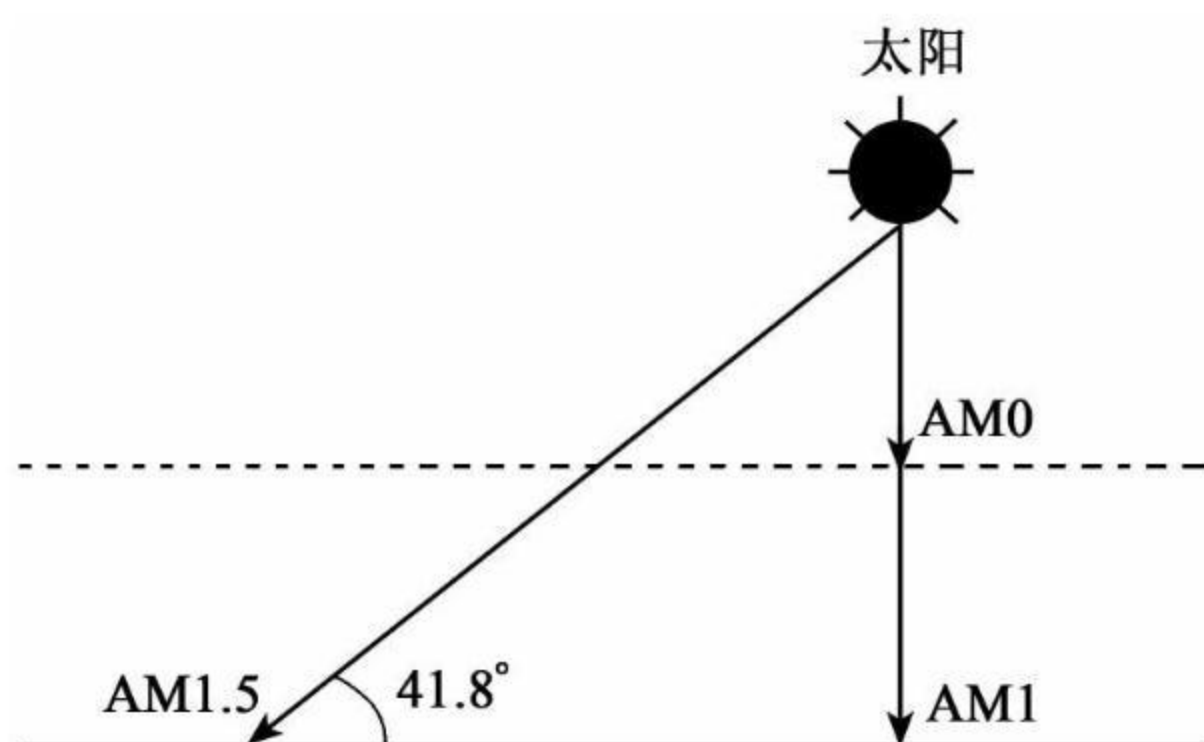


图 2.1 通过空气量

AM 用来表示进入大气的直达光所通过的路程。大气圈外用 AM0 表示,垂直的地表面 AM1 表示。太阳高度非常低时,地表面为球面,由于大气引起的曲折现象等原因,AM 值与上式相比略低。对太阳能电池等的特性评价时,使用的标准大气条件一般为 $AM = 1.5$ (这里对应的太阳高度角 h 为 41.8°)。

2.3 地表面太阳能量的分布

太阳光穿过大气到达地球时,由于各种吸收、散乱等影响而衰减,最大密度约 $1\text{kW}/\text{m}^2$,如图 2.2 所示。吸收主要由水蒸气、臭氧层、氧气层等引起。其中水蒸气的吸收较大,特别是水蒸气量较多的大气其衰减较大。臭氧层吸收对生物有害的短波长紫外线。近年来由于臭氧层的破坏,吸收这种短波长紫外线的量正在减少。

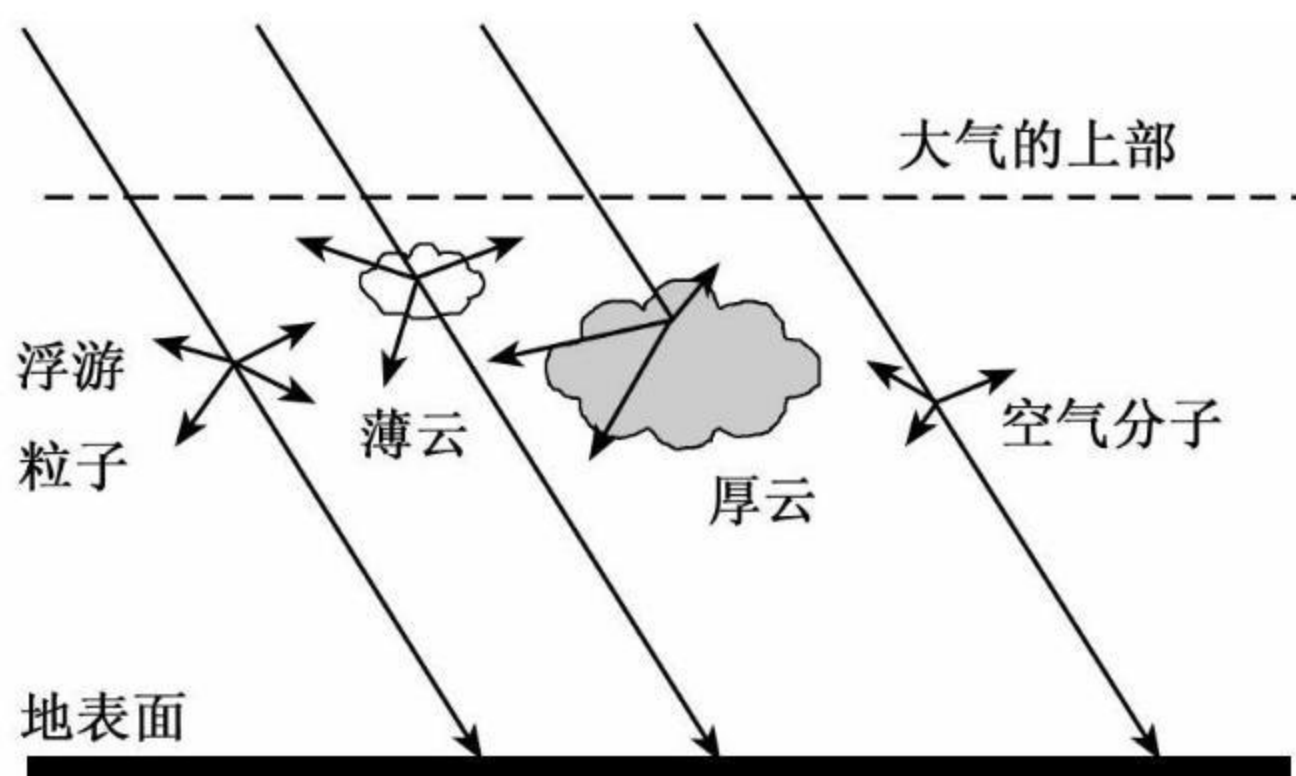


图 2.2 日射的衰减与传递

图 2.3 为太阳能到达大气圈的日射诸成分。如前所述,地表面太阳能量的分布与所在地的纬度、时间、气象条件等有关。晴天时正午前后到达地表面的太阳能能量密度为 $1\text{kW}/\text{m}^2$,但由于受气象条件、时间等因素的影响,实际的太阳能能量密度较低。如果假设到达地表面的平均日射量大约为 $0.165\text{kW}/\text{m}^2$,地球的表面积为 $510 \times 10^6\text{km}^2$,则到达地表面的太阳能能量约为 $84 \times 10^{12}\text{kW}$ 。几乎与

大气、地表面以及海面吸收的热能相等。当平均日射量为 $0.165\text{W}/\text{m}^2$ 时,则年累计量为 $5200\text{WJ}/\text{m}^2$ 。如果按地球表面积计算,相当于人类消耗能源的几十万倍。

在地球大气圈外,与太阳光垂直的面上的太阳光的密度为 $1.395\text{kW}/\text{m}^2$,到达大气圈外的太阳能的总量为 $173 \times 10^{12}\text{kW}$ 。一般来说太阳光的放射能量在到达大气圈之前大约有 30% ($53 \times 10^{12}\text{kW}$) 由于反射而损失掉了。剩下的 70% 的能量中,有 67% ($81 \times 10^{12}\text{kW}$) 被大气、地表面、海面吸收而转换成热能。33% ($40 \times 10^{12}\text{kW}$) 以蒸发、对流、降雨以及流水的形式形成流体循环的能量,转换成海流以及波浪的能量为 $370 \times 10^9\text{kW}$,光合作用的能量大约为 $40 \times 10^9\text{kW}$ 。太阳光的放射能量中只有不到 22 亿分之一到达地球。

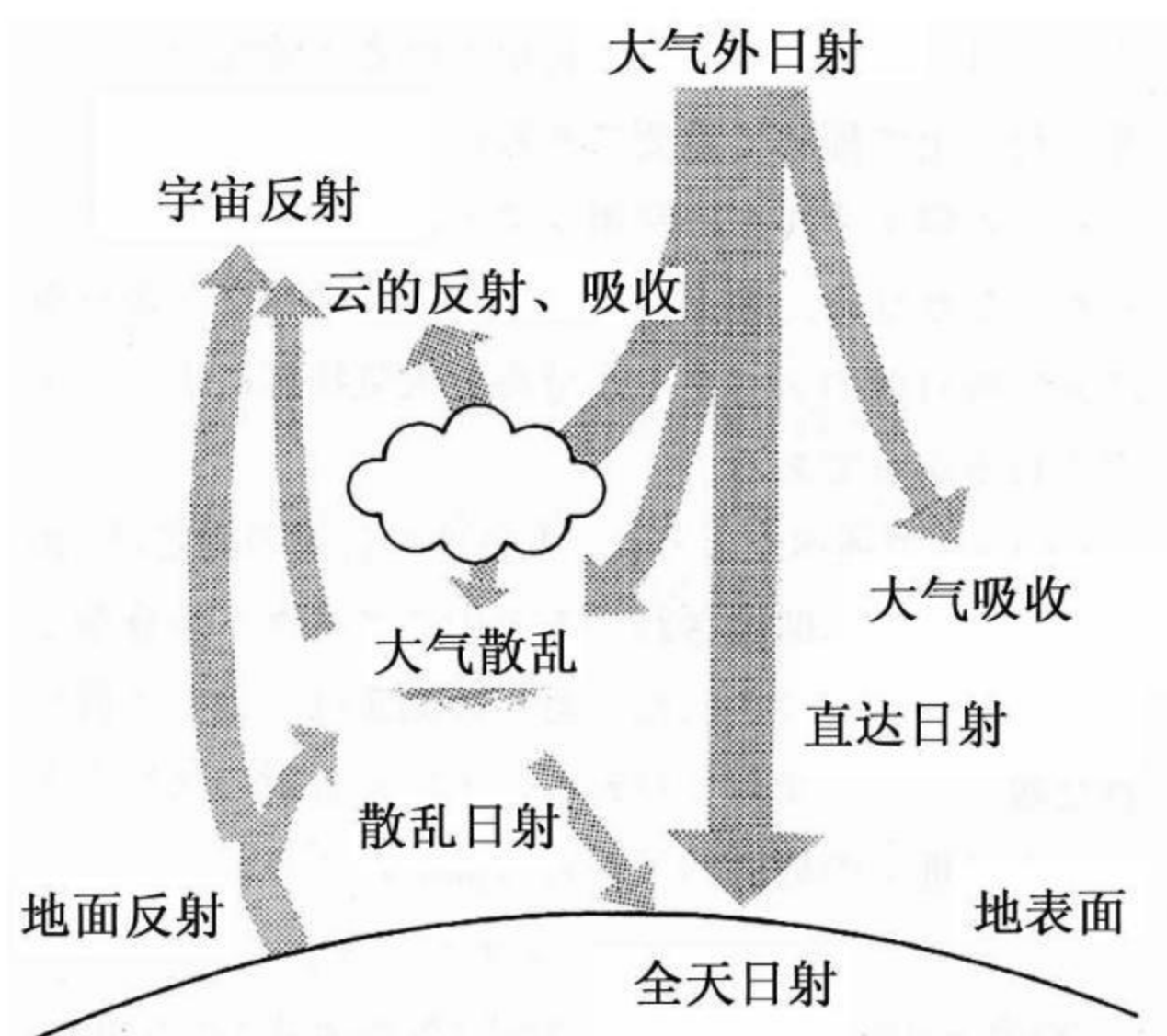


图 2.3 到达大气圈的日射诸成分

图 2.4 为大气圈外以及地面上的日射强度。由图可知,在地面上所测得的太阳光频谱由于大气层的吸收、散乱的影响,以及受大气通过空气量、气候、大气的状态等因素的影响会发生很大的变化。

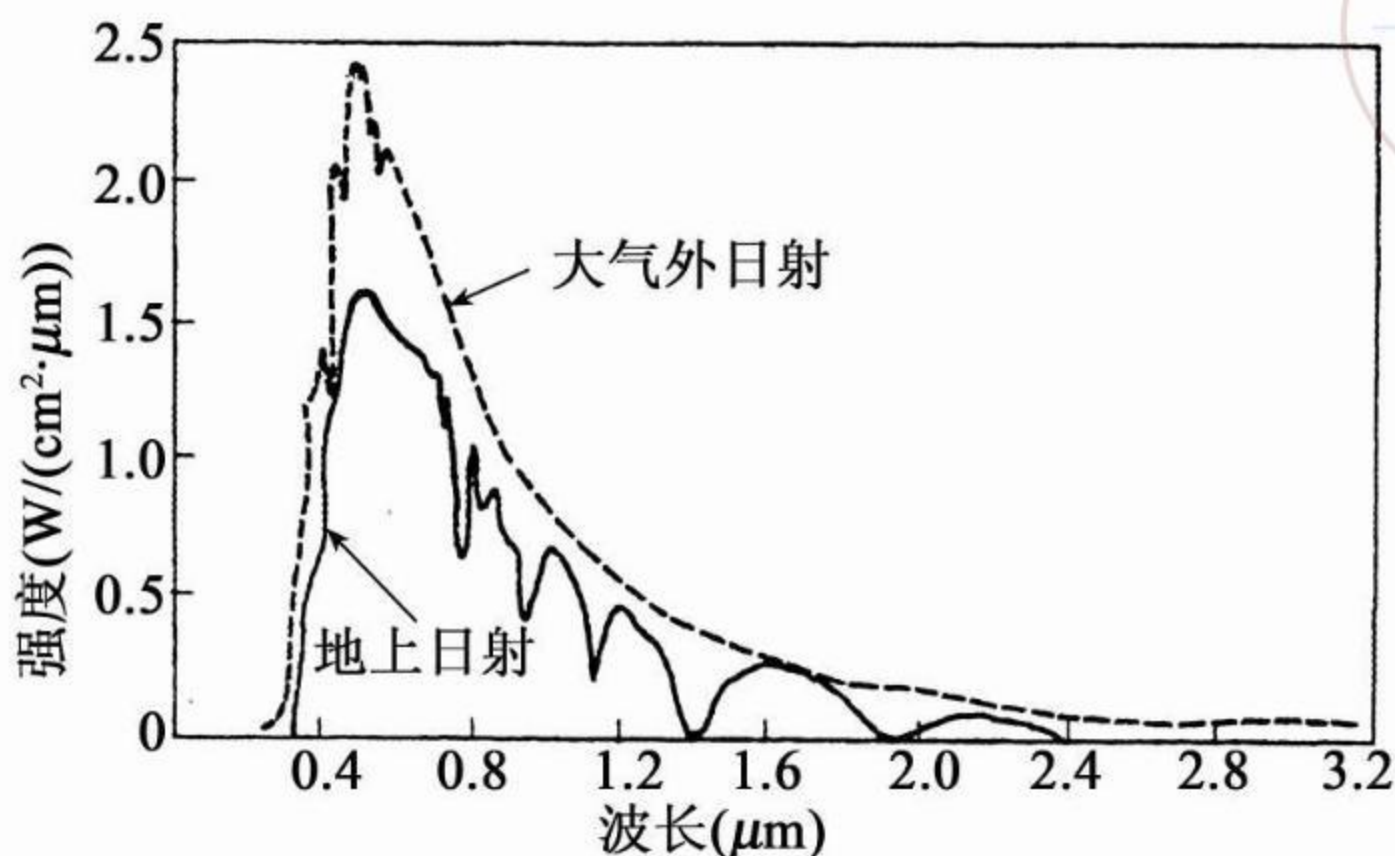


图 2.4 大气圈外以及地上的日射强度

2.4 直达日射、散乱日射与全天日射

大气中的细小尘埃是导致太阳的放射能量被吸收或使其散乱的原因。然而,即使无尘埃,大气比较洁净也会出现散乱的现象,其散乱的强度与波长的 4 次方成反比。由于短波长、蓝色的光的散乱强度较大,所以天晴时可以看到碧绿的蓝天。

太阳光直接到达地表面的成分称为直达日射。散乱或反射日射成分称为散乱日射。直达日射的水平面成分与散乱日射的总和称为全天日射。另外,一般的太阳电池以及太阳热水器南向倾斜面设置的情况比较多,倾斜面的日射加上设置地点的地表反射光称为倾斜面日射。图 2.5 为地表的直达日射和散乱日射。

利用太阳能时,散乱日射是一种不容忽视的重要日射成分。散乱日射强度占全天日射强度的比例在晴天时为 10% ~ 15%,该比例随着云量的增加而增大。太阳被云遮挡时,散乱日射为 100%,即此时全为散乱日射。图 2.6 为某地区每月的水平面日射量的测量值。由图可知,夏天时散乱日射所占比例较大,散乱日射量占年累计值的 52% 左右。如果除去沙漠地带,世界的大部分区域的散乱日射量约

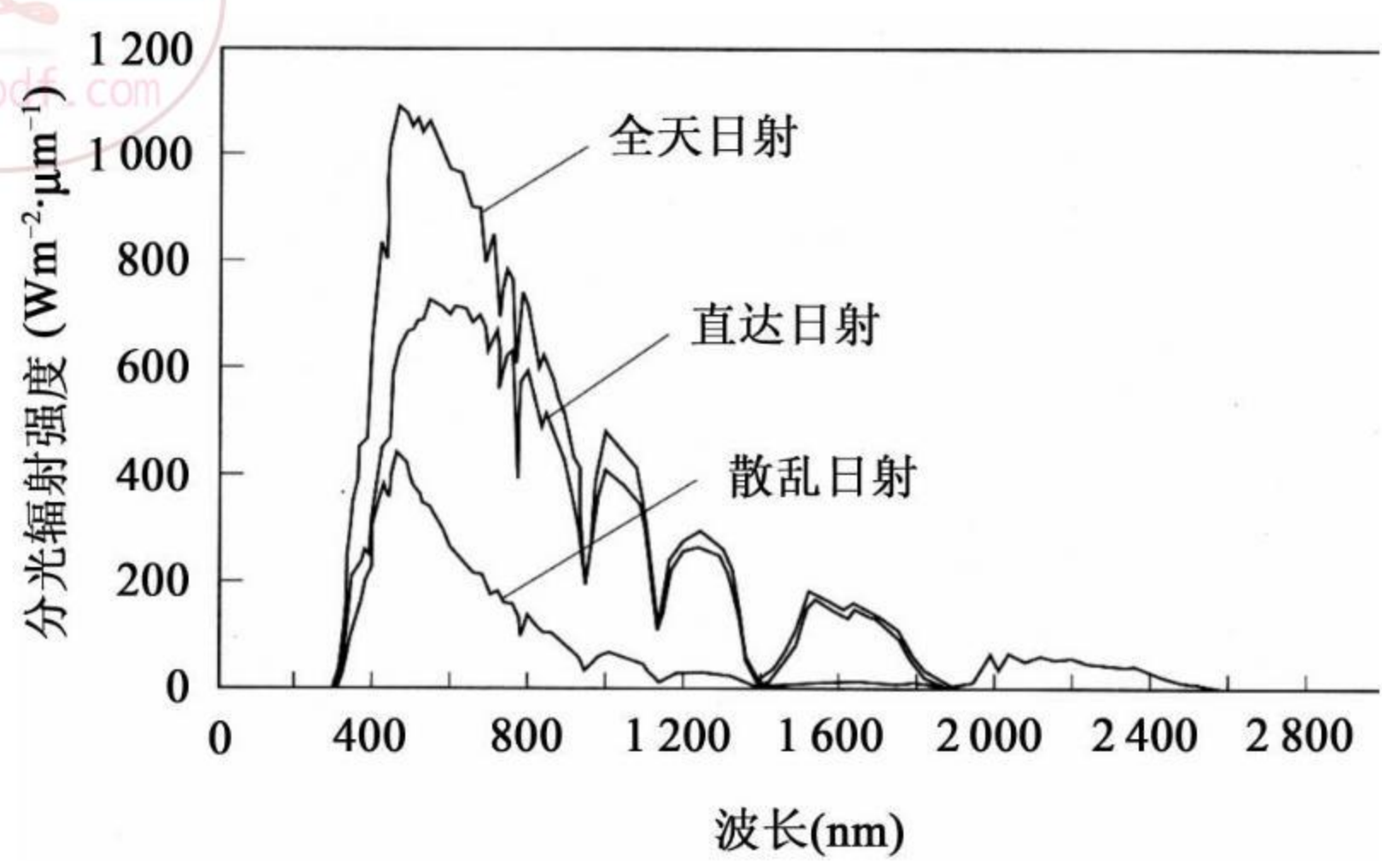


图 2.5 地表的直达日射和散乱日射

占全天日射量的年累计值的 50% 左右。

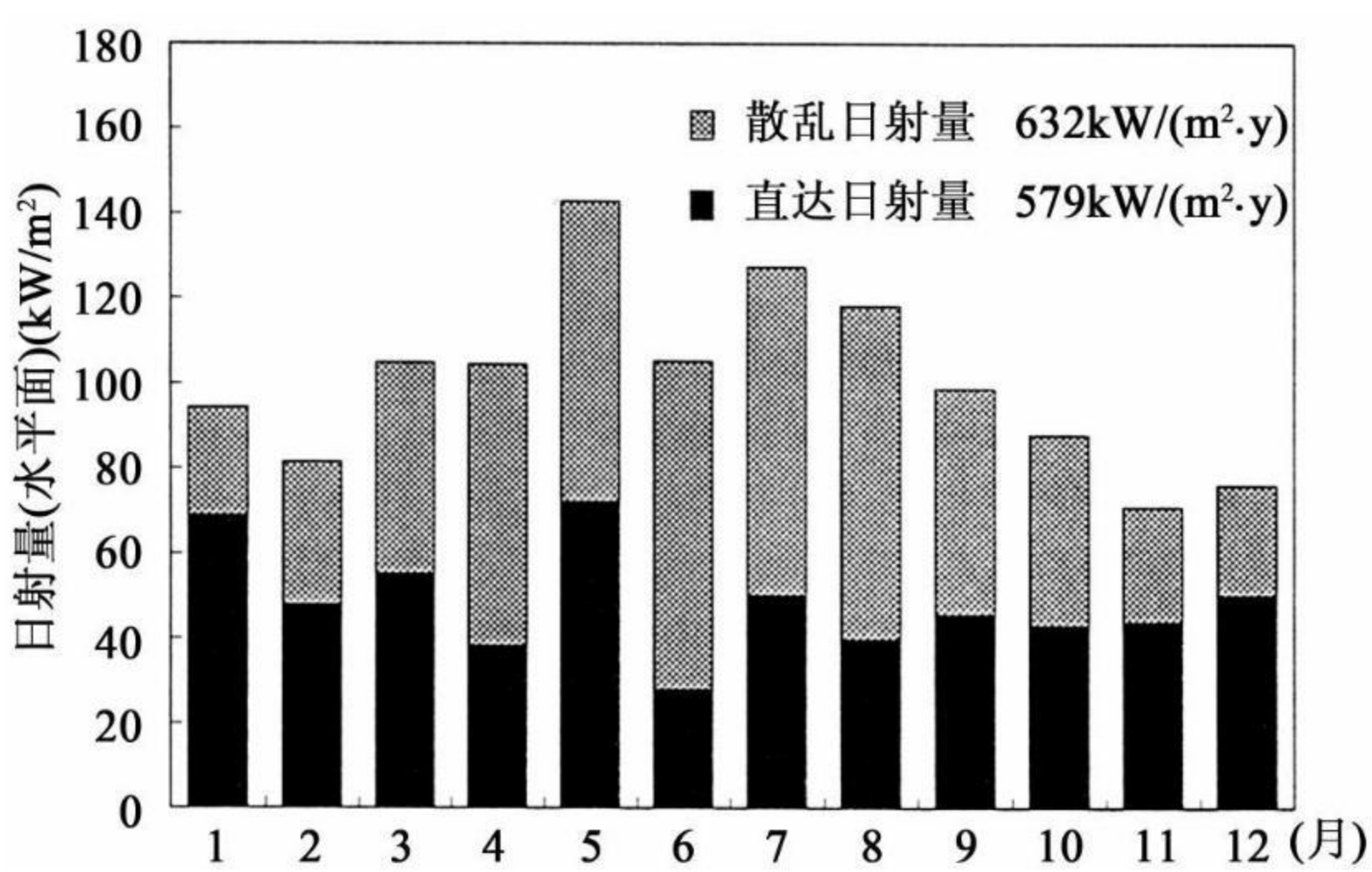


图 2.6 直达日射量与散乱日射量的年变化

2.5 日射诸量

日射诸量与太阳电池的出力有关,包括日射强度、日射量、日照时间的定义、使用单位等。

1. 日射强度

日射强度一般用单位面积、单位时间的能量密度来表示。单位为 mW/cm^2 、 kW/m^2 或 $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 等。由于照射在地面上的太阳光的强度随时间变化而变化,因此,发电用太阳电池的出力也会随太阳能光的强度而变,所以日射强度是表示太阳电池特性、各种测量以及太阳能光伏系统设计中的基本量之一。

2. 日射量

日射量由日射强度与时间决定,每日、每月累计得到。一般来说,日射量是指由一日的入射能量计算得到的各月的平均值。单位为 Wh 或 kWh 等。

3. 日照时间

按照世界气象组织(MWO)1981年的定义,直达日射值 $0.12 \text{ kW}/\text{m}^2$ 称为日照界限值,相当于晴天时日出10分钟后,阴天时物影较淡的程度。这样的日射照射时的累计时间数称为日照时间。

4. 日射变化

日射强度受季节、时刻、天气的影响会发生很大的变化,图2.7、图2.8为夏季晴天以及阴天时典型的全天日射强度和散乱日射强度变化的情况。从图可以看出,晴天时全天日射强度中散乱日射强度所占比例较低,而阴天时全天日射强度与散乱日射强度基本相同,几乎无直达日射。当然,地方不同则全天日射强度中散乱日射强度所占比例也不尽相同。

2.6 太阳光频谱

图2.9为太阳光的波长与辐射强度的关系。由图可知,太阳光

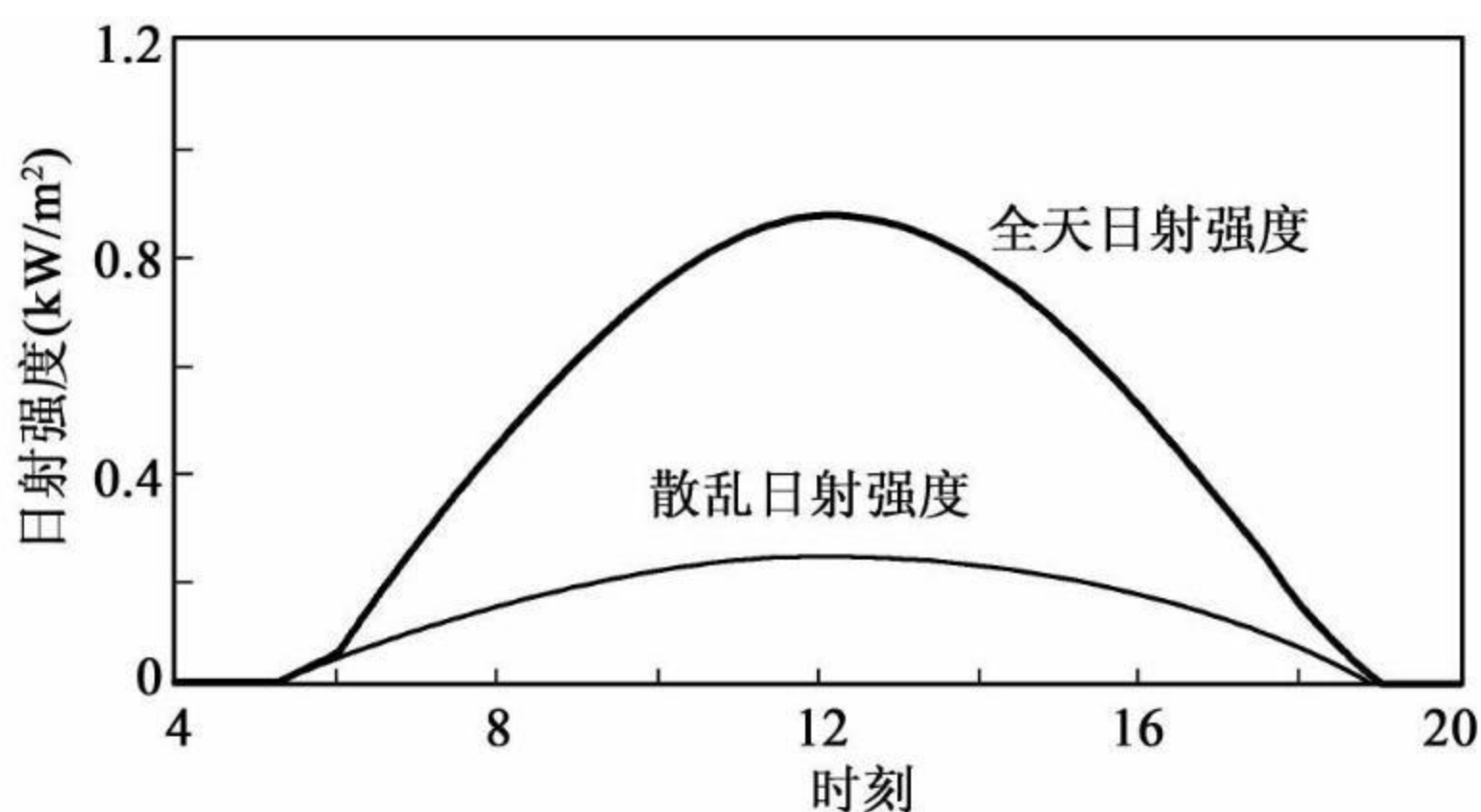


图 2.7 晴天时日射强度的变化

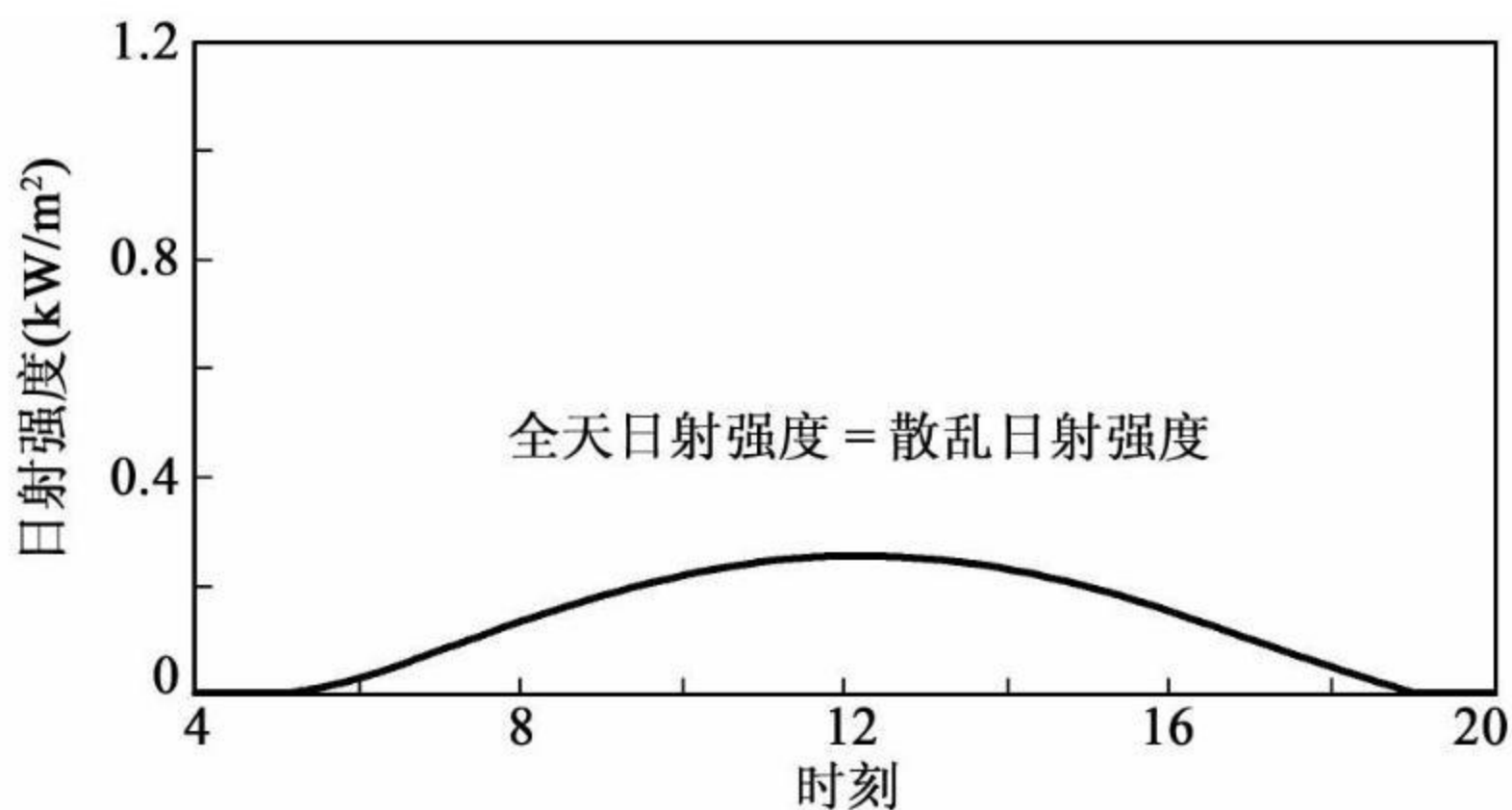


图 2.8 阴天时日射强度的变化

是由各种各样的颜色(波长)的光构成的。大气圈外的太阳光相当于 5 700K 的黑体辐射,具有较宽的连续频谱。其波长范围为 350 ~ 2 500nm。其中,可见光(400 ~ 750nm)约占总能量的 44%。波长 400nm 以下的紫外光的能量约为 8%,虽然所占比例较低,但却具有烧伤皮肤、杀菌等化学功能。波长 750nm 以上的红外光所占比例较高,约占全部能量的 48% 左右。太阳电池发电根据其种类的不同,可以利用紫外光(如透明太阳电池)、可见光以及红外光发电。

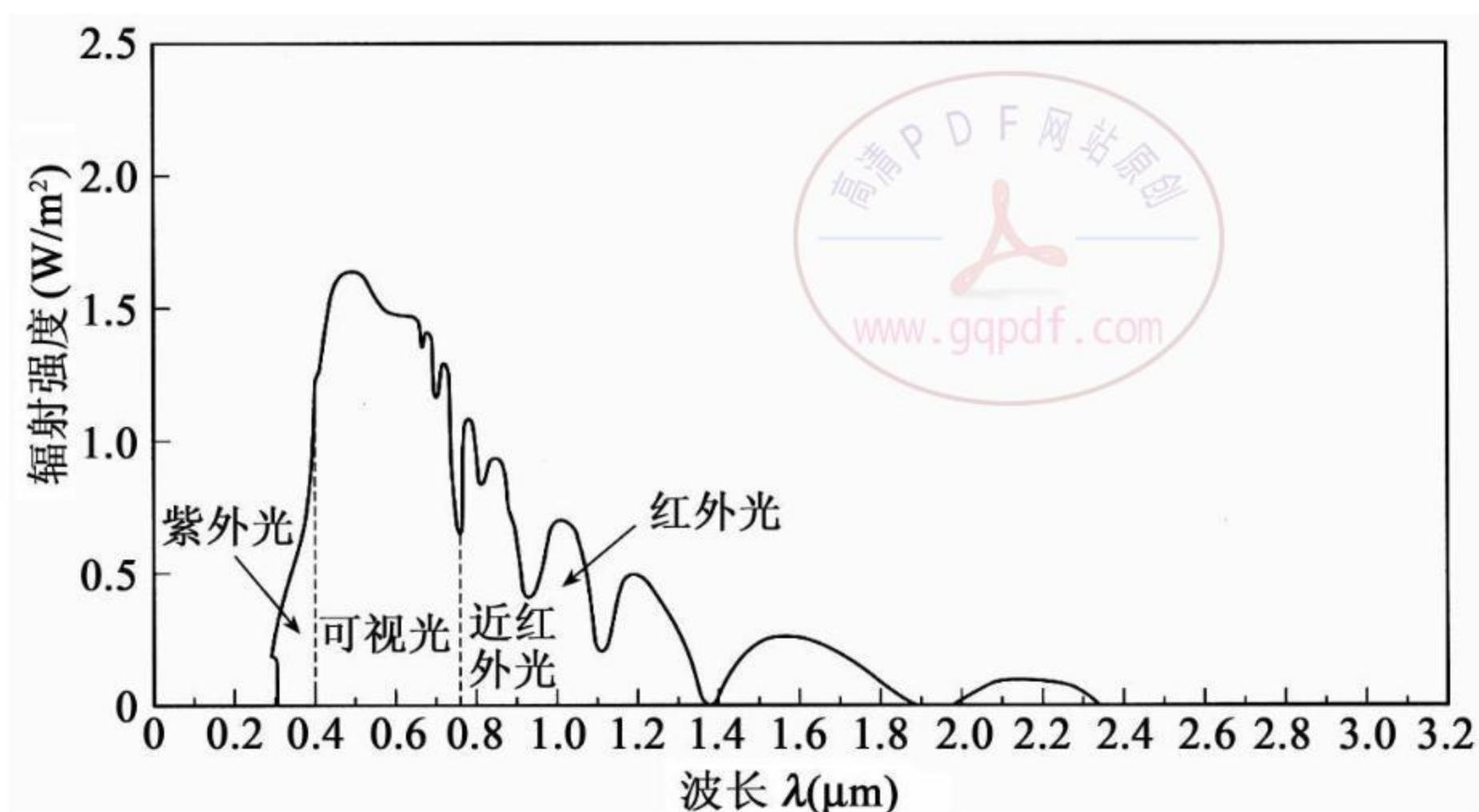


图 2.9 太阳光的波长分布与辐射强度

2.7 各种太阳电池的分光感度特性

太阳电池在将光能变成电能的过程中,由于转换装置的材料不同其所转换的能量也不同,对应不同光的波长的感度特性也不同。太阳电池对应于不同光的波长的响应特性称为分光感度特性。下面只作简单介绍,详细内容请参阅 3.4.2 太阳电池的分光特性。

图 2.10 为基准太阳光频谱分布与多晶硅的分光感度特性。太阳光频谱由各种不同波长的光组成,太阳光频谱分布变化会影响太阳电池的转换效率。各种太阳电池的分光感度特性如图 2.11 所示,由图可知,多晶硅太阳电池的分光感度一般在 300 ~ 1 200nm,非晶硅太阳电池的分光感度一般在 300 ~ 800nm, CdS/CdTe 太阳电池的分光感度一般在 500 ~ 900nm, 二层串联非晶硅太阳电池的分光感度一般在 300 ~ 800nm 的范围。可见不同种类太阳电池其分光感度是不同的,因此利用这些特点可以在不同的光的条件下使用相应的太阳电池,如房间内使用荧光灯照明,太阳能计算器一般使用非

晶硅。

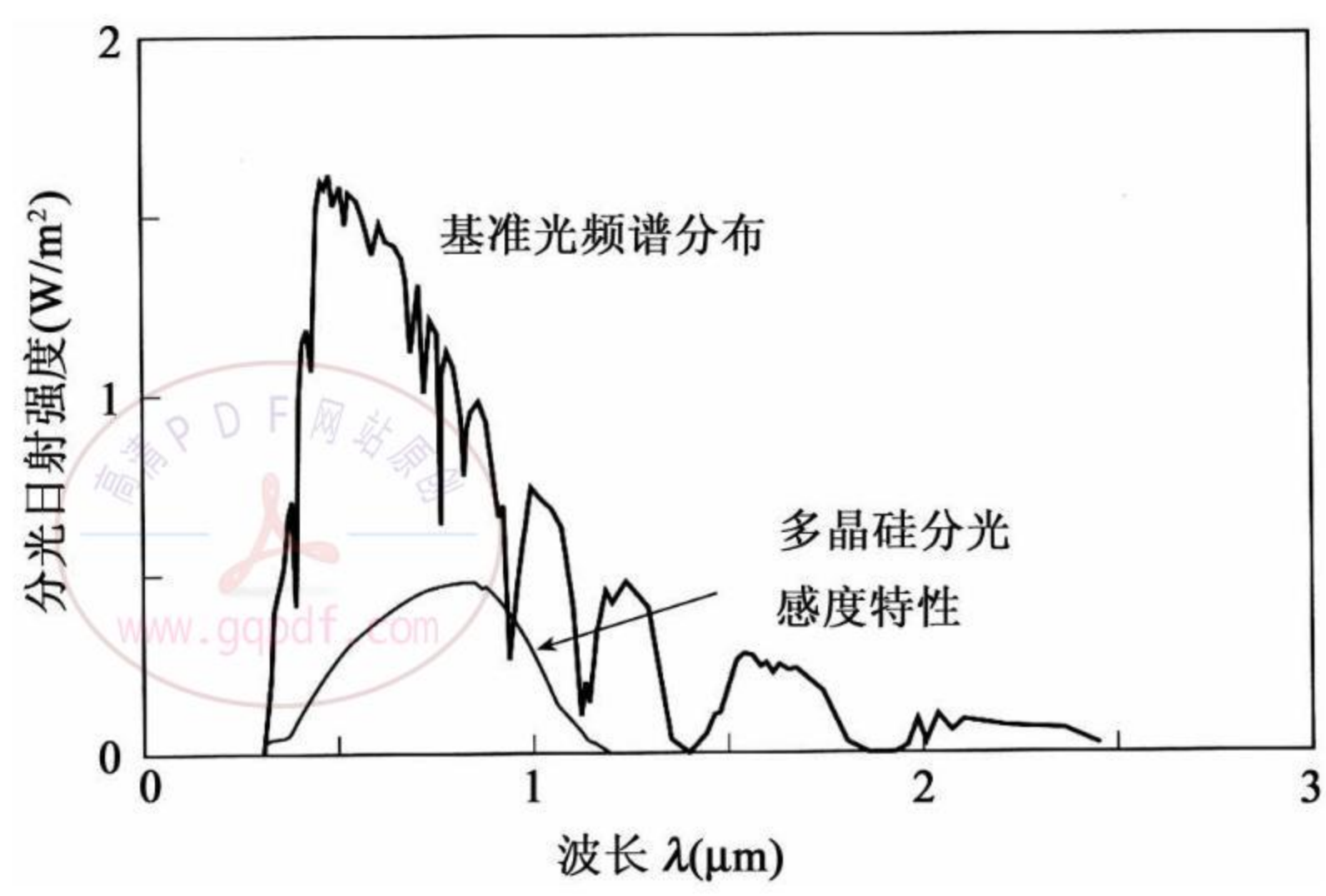
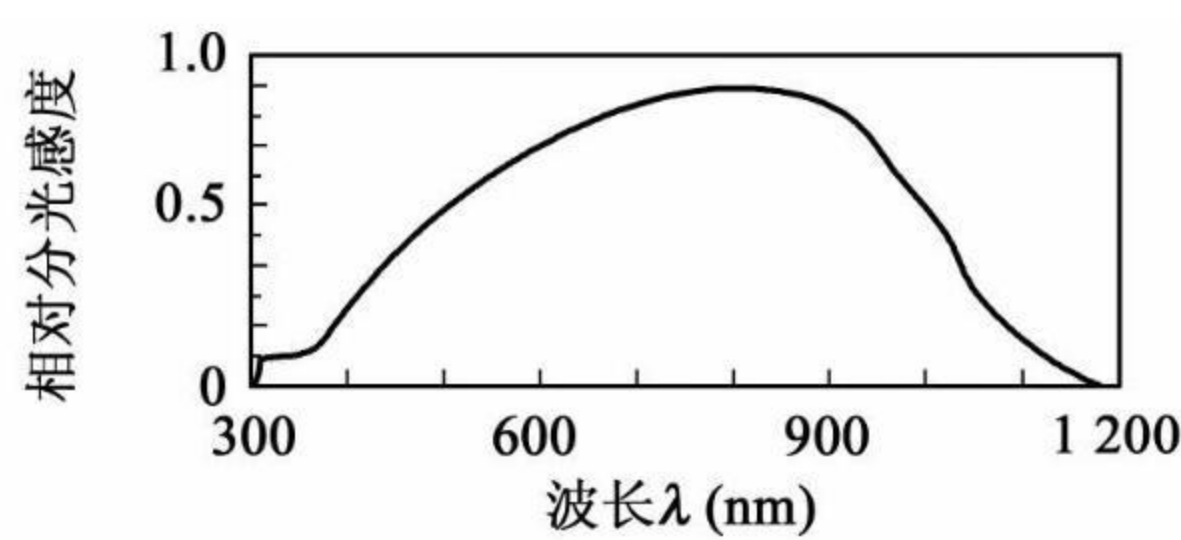
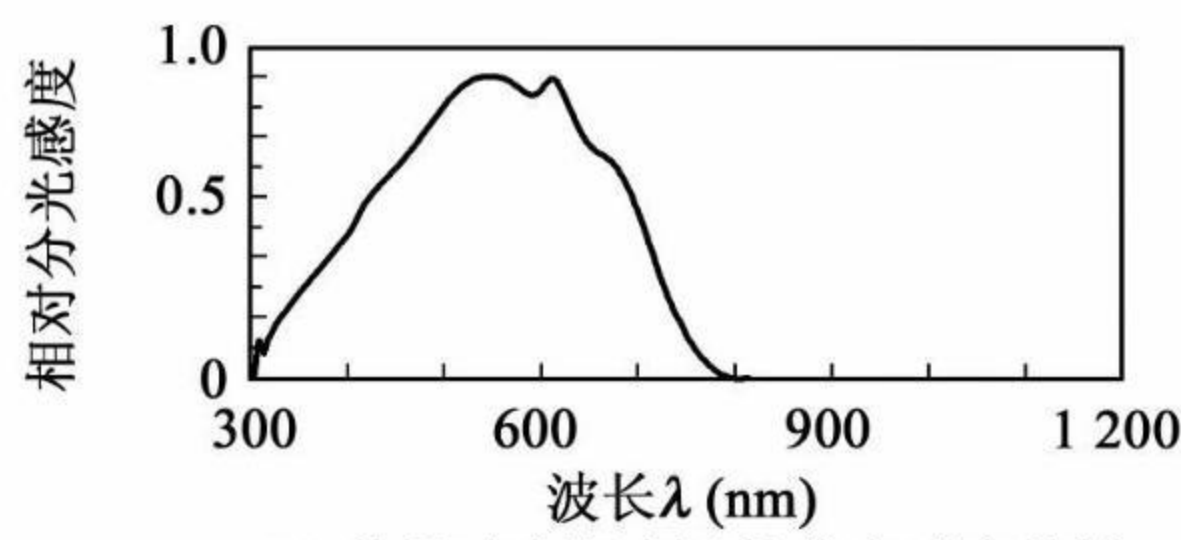


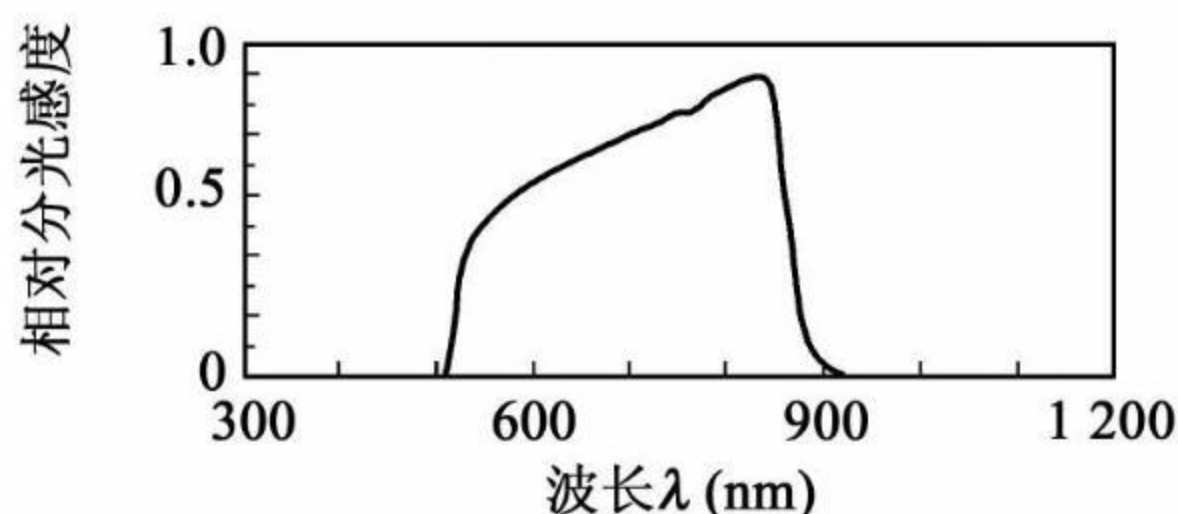
图 2.10 基准太阳光频谱与多晶硅的分光感度特性



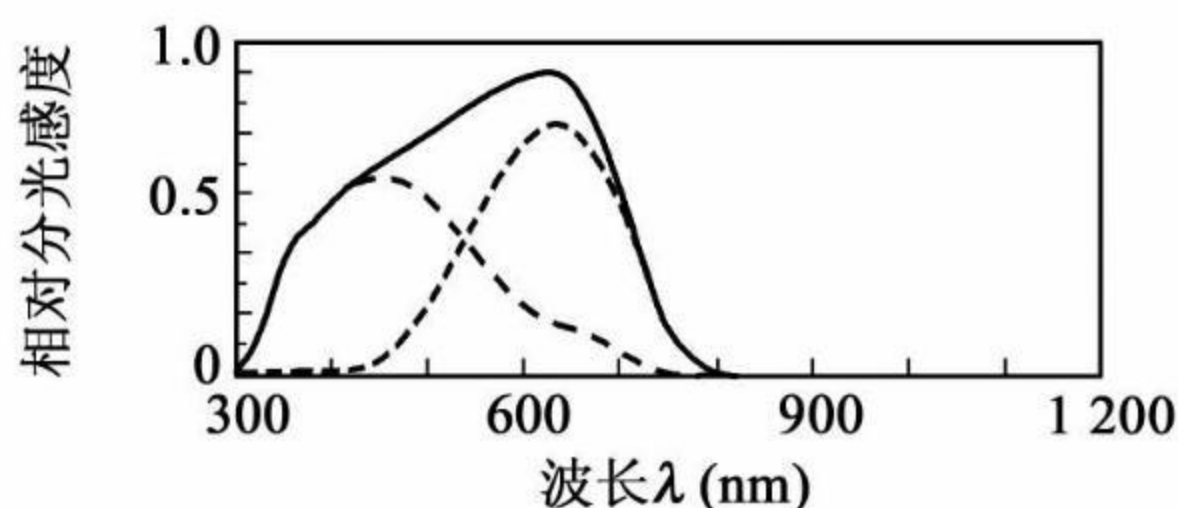
(a) 多晶硅太阳电池的分光感度特性



(b) 非晶硅太阳电池的分光感度特性



(c) CdS/CdTe太阳电池的分光感度特性



(d) 二层串联非晶硅太阳电池的分光感度特性

图 2.11 各种太阳电池的分光感度特性

2.8 日射量的分布

我们知道到达地球表面的太阳能量与地球所在的地理位置、季节、时刻、气象条件、大气的状况有关。图 2.12 为世界年累计日射量的分布情况。从日射量较多的沙漠地带到极地之间，年累计日射量在 $3\,000 \sim 8\,000 \text{ MJ/m}^2$ 以上。

图 2.13 为我国的日射量分布情况。根据日射强度可分为 5 类：一类地区为太阳能资源最丰富的地区，包括宁夏及甘肃北部、新疆东部、青海及西藏西部等地，年累计日射量在 $6\,600 \sim 8\,400 \text{ MJ/m}^2$ ；二类地区为太阳能资源较丰富的地区，包括河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部等地，年累计日射量在 $5\,850 \sim 6\,680 \text{ MJ/m}^2$ ；三类地区为太阳能资源中等类型地区，包括山东、河南、河北东南部、山西南

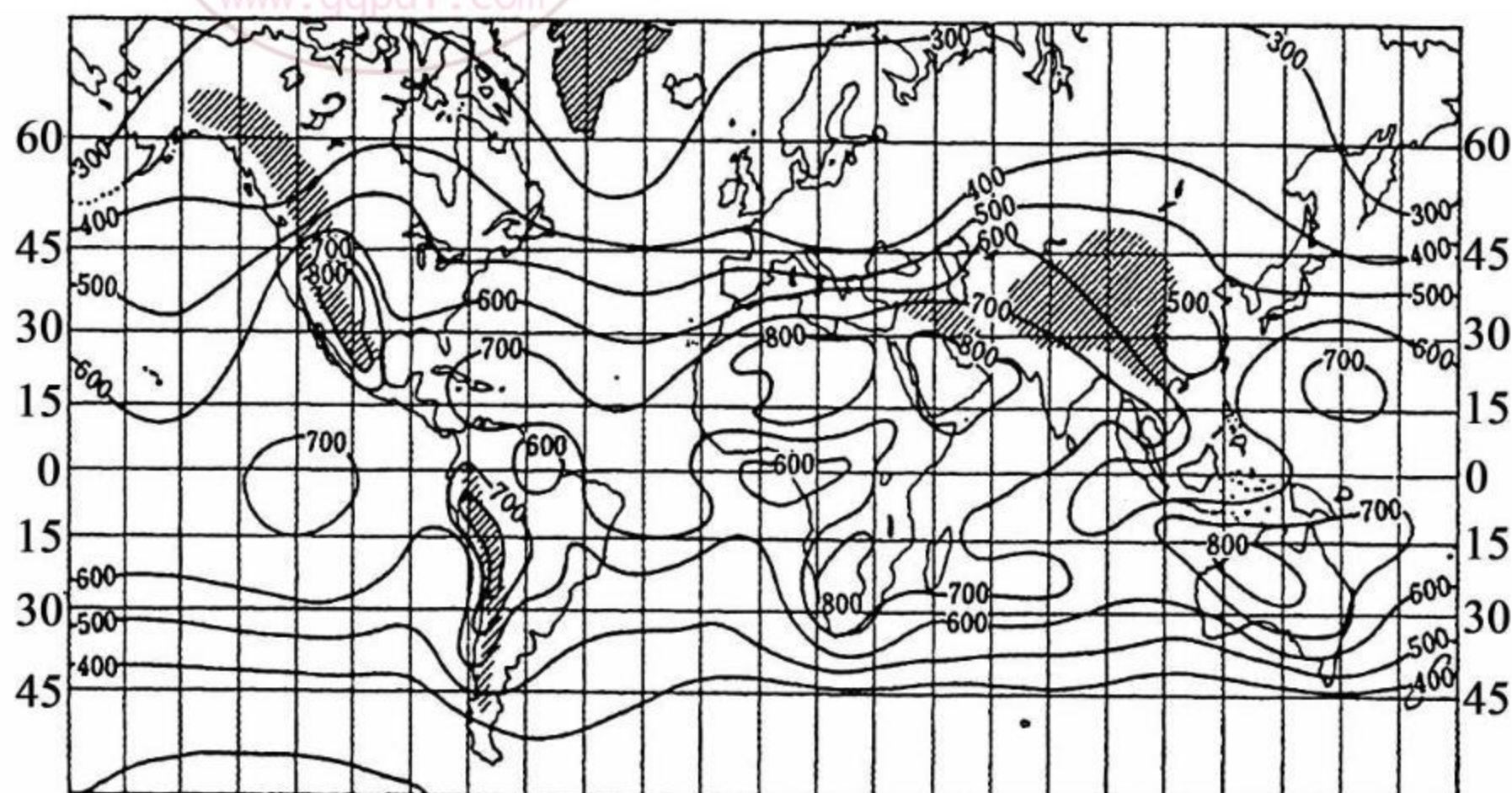


图 2.12 年累计水平面全天日射的分布 (单位: kJ/cm^2)

部、广东南部等地,年累计日射量在 $5\,000 \sim 5\,850 \text{ MJ}/\text{m}^2$; 四类地区为太阳能资源较差的地区,包括湖南、湖北、江西、广东北部等地,年累计日射量在 $4\,200 \sim 5\,000 \text{ MJ}/\text{m}^2$; 五类地区为太阳能资源最少的地区,包括四川、贵州两省,年累计日射量在 $3\,350 \sim 4\,200 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 。由此可见,我国有丰富的太阳能资源,利用前景十分广阔。

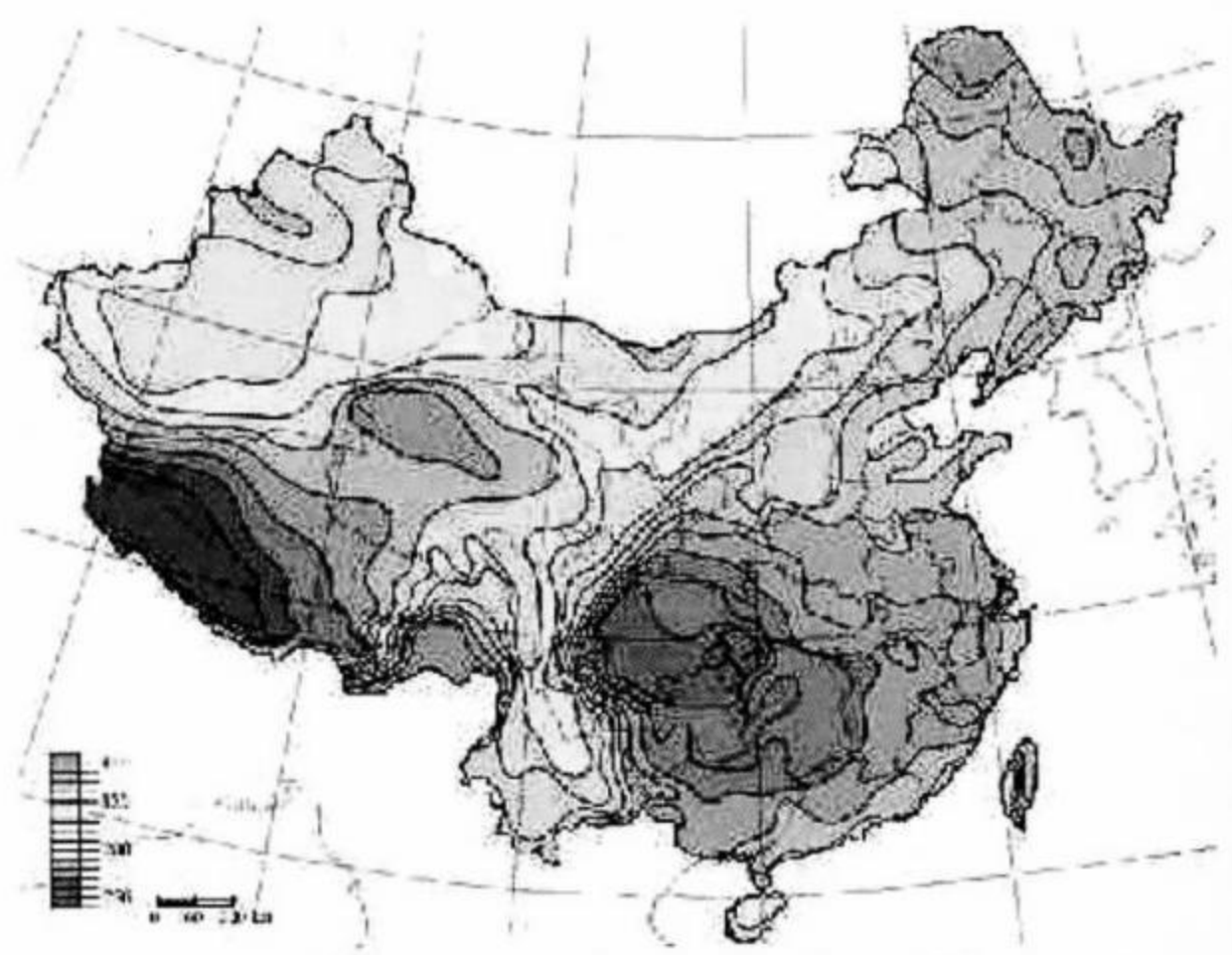


图 2.13 年累计水平面全天日射的分布



2.9 太阳能的利用

太阳能可以各种形式加以利用,如热利用、发电、光利用以及其他利用等。

1. 热利用

热利用就是将太阳能转换成热能,如热水器、冷热空调系统等。低温利用比较容易,如太阳能热水器,太阳冷暖房系统等。利用温度较高时,需利用聚光镜等,但这会增加技术难度,并使成本过高。

2. 发电

太阳能发电可分为太阳热发电和太阳光发电。太阳光发电就是利用太阳电池将太阳的光能转换成电能。太阳能发电所使用的能源是太阳能,而由半导体器件构成的太阳电池是太阳能发电的重要部件。太阳电池可以利用太阳的光能直接转换成电能,以分散电源系统的形式向负载提供电能。

3. 照明

利用太阳光给室内照明。另外,可以使用光导纤维将太阳光引入地下室等阴暗处,以解决日照不良地方的照明问题。

4. 其他利用

太阳能的其他利用方式多种多样,如将太阳能转换成化学能的方式;利用热化学反应、光化学反应等方法可以制造氢气、甲醇等燃料,为燃料电池发电、燃料电池汽车等提供能源;另外,使用集光太阳光可以分解有害物质,进行材料的表面加工、处理等。

第3章 太阳电池

1800年,人们发现了将光照射在半导体上出现电动势的现象,即光电效应。后来出现了由半导体构成的太阳电池。太阳电池的研究始于20世纪50年代。当时由于价格昂贵,主要应用于人造卫星等领域。70年代由于石油危机,太阳能作为代替能源而被关注,世界各国开始大力研究太阳电池。除了晶硅太阳电池、非晶硅太阳电池外,还出现了各种化合物半导体太阳电池以及由两种太阳电池构成的层积型太阳电池等新型太阳电池。

由于太阳电池可以将太阳的光能直接转换成电能,无复杂部件、无转动部分、无噪音等,因此,使用太阳电池的太阳能光伏发电是太阳能利用较为理想的方式之一。太阳电池作为将太阳能直接转换成电能的关键部件,由于经过多年的研究、技术开发,目前价格下降、性能提高,已经达到了应用普及的阶段。

3.1 太阳电池的特点

太阳能发电所使用的能源是太阳能,而由半导体器件构成的太阳电池是太阳能发电的重要部件,太阳能发电具有如下特点:

1. 太阳能无公害,是一种取之不尽、用之不竭的清洁能源,另外,石油、煤炭资源是有限的,而太阳能是一种半永久性的能源,太阳能发电不需燃料费用;
2. 有太阳的地方可发电,因此使用方便,通常的火力、水力发电方式,发电站一般远离负荷,需要输电,而太阳电池可设置在负荷所在地就近为负荷提供电力;

3. 无可动部分、寿命长,发电时无噪音,管理、维护简便;
4. 可将太阳能直接转换成电能;太阳电池能直接将光能转换成电能,不会产生废气、有害物质等;
5. 太阳电池的出力随入射光、季节、天气、时刻等的变化而变化,夜间不能发电;
6. 所产生的电是直流电,并且无蓄电功能;
7. 入射能量稀薄;
8. 目前发电成本较高。

3.2 太阳电池的发电原理及构造

1. 太阳电池的发电原理

当光照射在半导体上时,不纯物中的电子被激励,由于带间激励,价电子带的电子被传导带激励而产生自由载流子,从而导致电气传导度增加的现象(Photo-Conductive Effect),这种现象称为光传导现象。

图 3.1 为用能量带图表示的带间激励引起的光传导现象的示意图。当大于禁止带宽 ε_g 的能量的光 ($h\omega \geq \varepsilon_g$) 照射在半导体上时,由于带间迁移作用,价电子带中的电子被激励,而产生电子-空穴对,使电气传导度增加。

但是,当如图 3.2 所示的半导体中的内部电场 E 存在时,半导体受到光照射时便产生电子-空穴对,由光所产生的电子在传导带中的电场的作用下向右侧运动,而价电子中的空穴则向左侧运动,由于产生电荷载流子的分极作用半导体的两侧产生电位差,这种现象称为光电效应(Photo-Voltaic Effect)。

图 3.3 为单晶硅太阳电池的构造。实际的太阳电池是在 P 型硅的周围用扩散的方法形成较薄的 N 型层,并带有电极。

图 3.4 为单晶硅太阳电池受到光照射时产生载流子的情况。此图为 PN 结的放大图。当光照射时,由于内部电场的作用在结合部附近产生载流子。图中, L_n : 电子的扩散距离, L_p : 正孔的扩散距离,



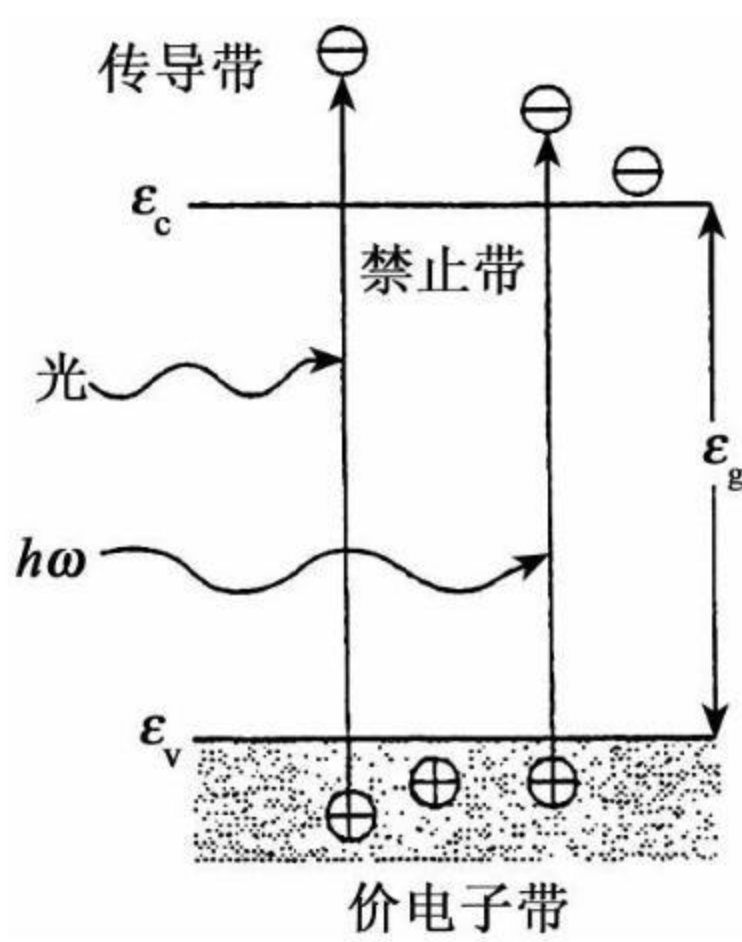


图 3.1 带间激励引起的光传导现象

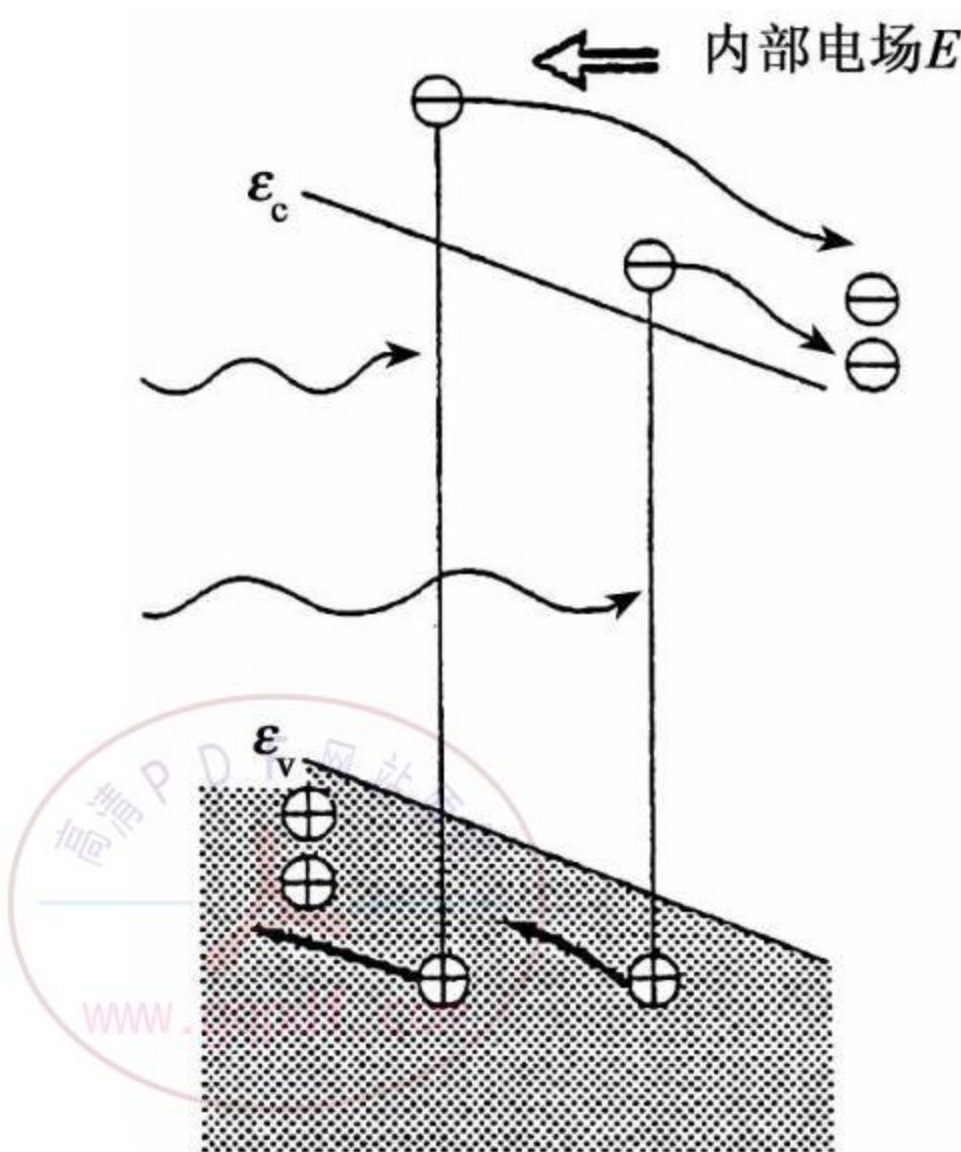


图 3.2 光电效应

d : 接合深度, W : 迁移区。

图 3.5 为用能量带图表示的载流子分极的情况。由图可知, 光照射而产生的电子-空穴对由于迁移区内部电场的作用而左右漂移,

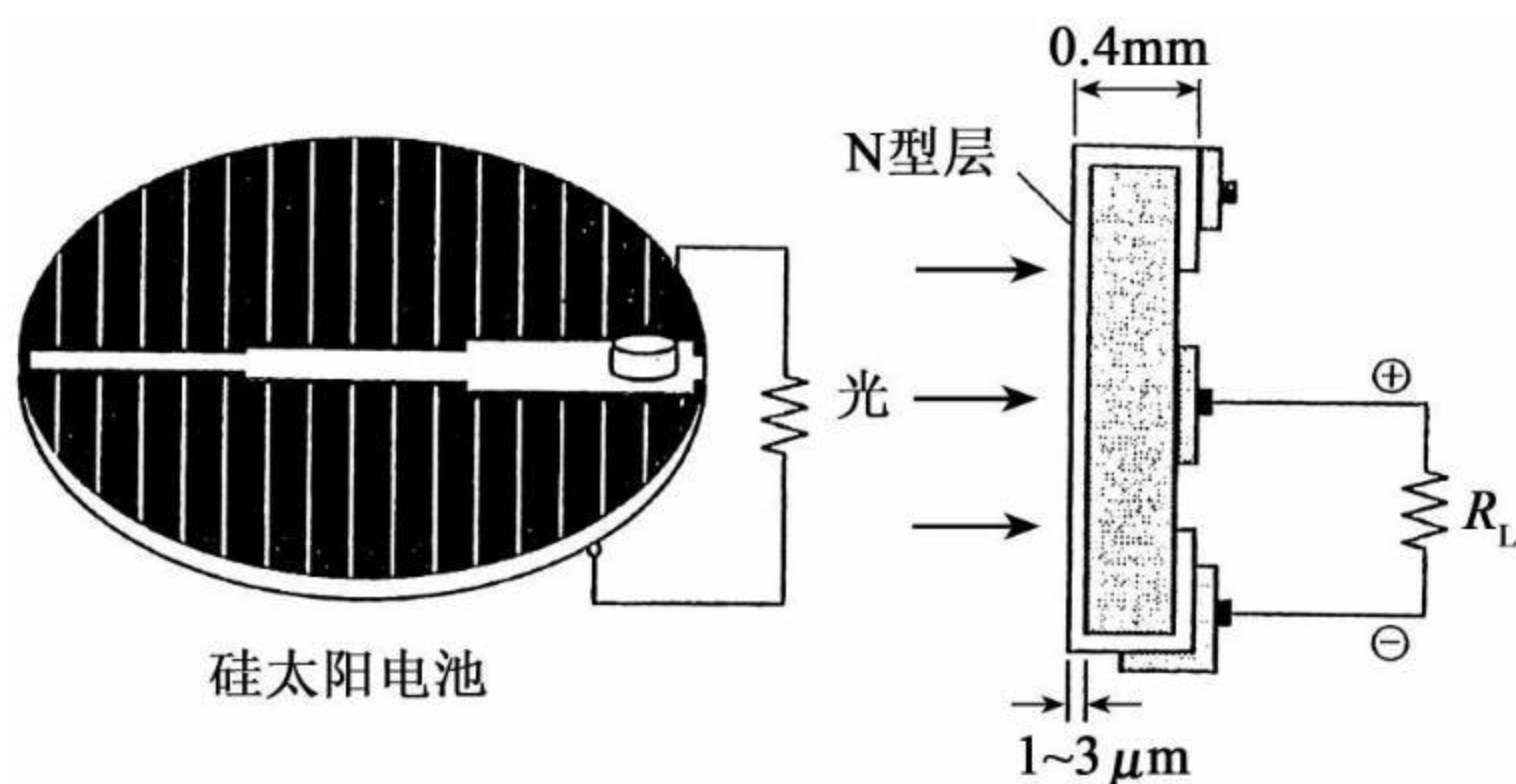
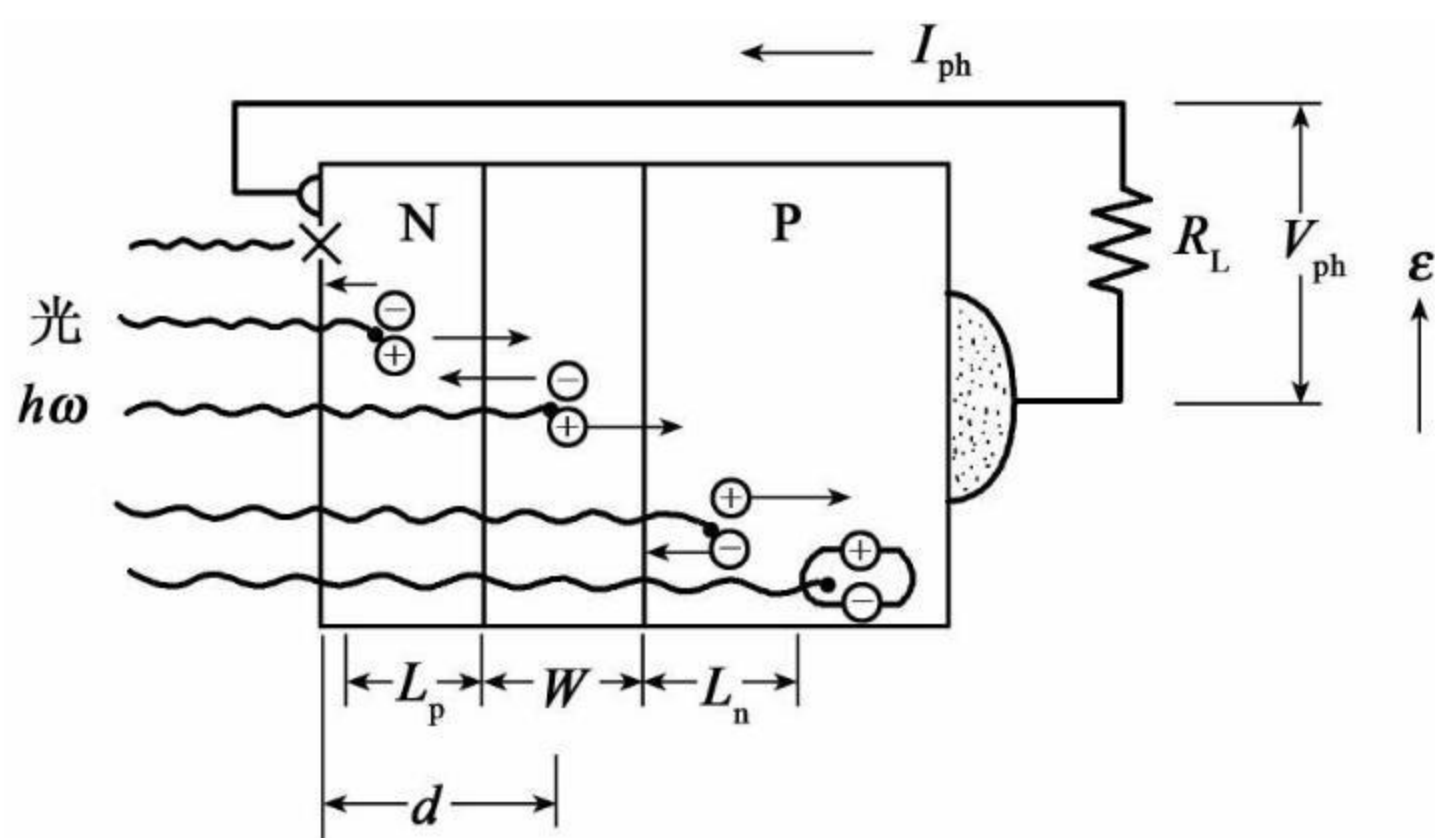


图 3.3 单晶硅太阳电池的构造



3.4 单晶硅太阳电池受到光照射时产生载流子的情况

在两端的电极聚集而产生光电压 V_{ph} ，当太阳电池与负载连接时，P 型硅的正孔，N 型硅的电子流向负载便形成光电流 I_{ph} 。

2. 太阳电池的构造

太阳电池的构造多种多样，一般的太阳电池的构造如图 3.6 所示。现在多使用由 P 型半导体与 N 型半导体组合而成的 PN 结型太阳电池。主要由 P 型、N 型半导体、电极、反射防止膜等构成。

对于由两种不同的硅半导体 (N 型与 P 型) 结合而成的太阳电池，当太阳光照射时，太阳的光能被太阳电池吸收，产生正离子 (+)

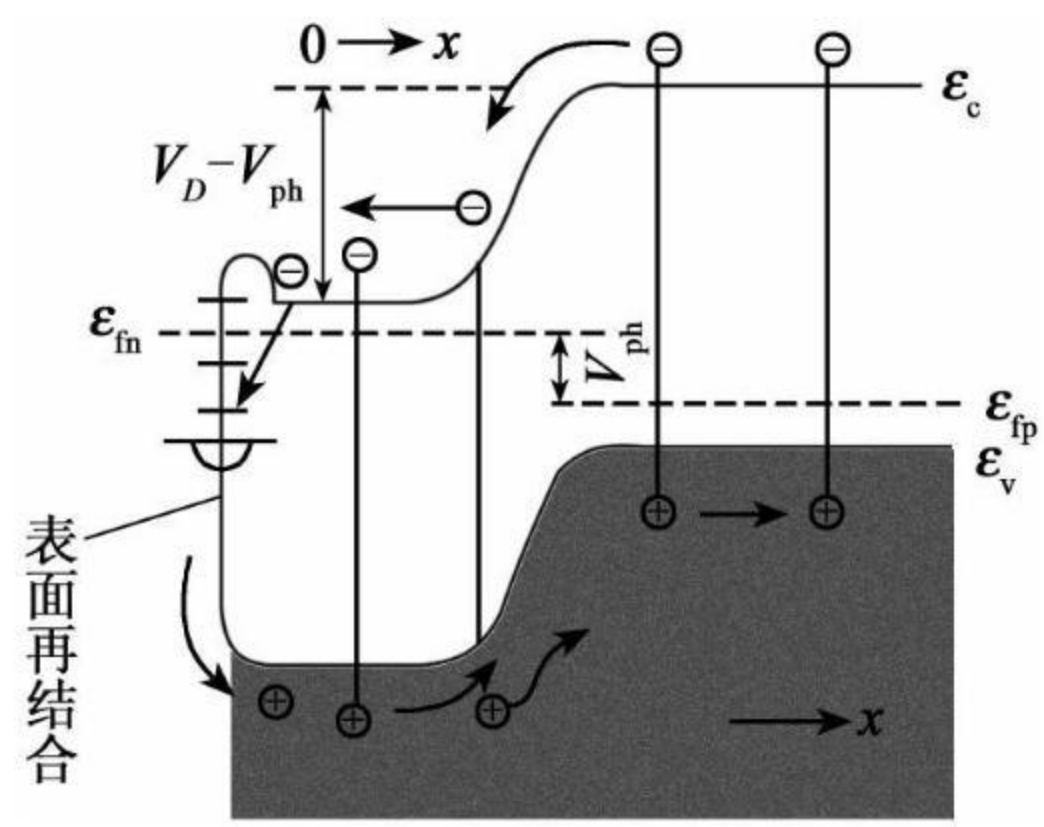


图 3.5 载流子分极的情况

(正孔)和负离子(-)(电子)。正离子向 P 型半导体集结,而负离子向 N 型半导体集结,当在太阳电池的表面和背后的电极之间接上负载时,便有电流流过。

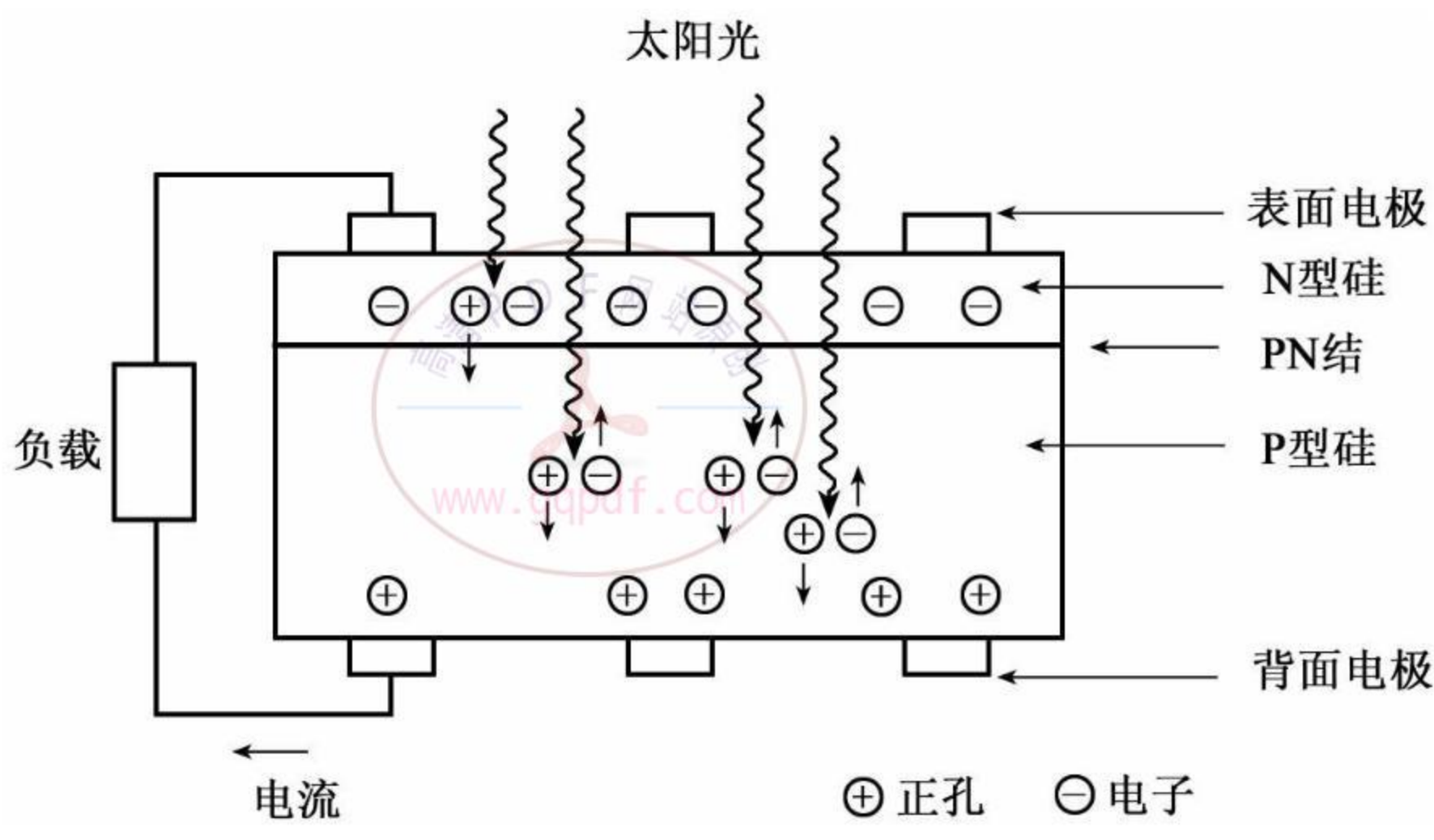


图 3.6 太阳电池的发电原理及构造

3.3 太阳电池的种类

太阳电池根据其使用的材料可分成硅系太阳电池、化合物系太阳电池以及有机半导体系太阳电池等类型,如图 3.7 所示。硅系太阳电池可分成结晶硅系太阳电池和非晶硅系太阳电池。而结晶硅系又可分成单晶硅太阳电池和多晶硅太阳电池。

化合物半导体太阳电池可分为 III-V 族化合物 (GaAs) 太阳电池、II-VI 族化合物 (CdS/CdTe) 太阳电池以及三元 (I-III-IV 族) 化合物 (CuInSe_2 : CIS) 太阳电池等。

有机半导体太阳能电池可分成色素增感型太阳能电池以及有机薄膜(固体)太阳电池等。

如果根据太阳电池的形式、用途等还可分成民生用、电力用、透明电池、半透明电池、柔软性电池、混合型电池 (HIT 电池)、层积电池以及球状电池等。

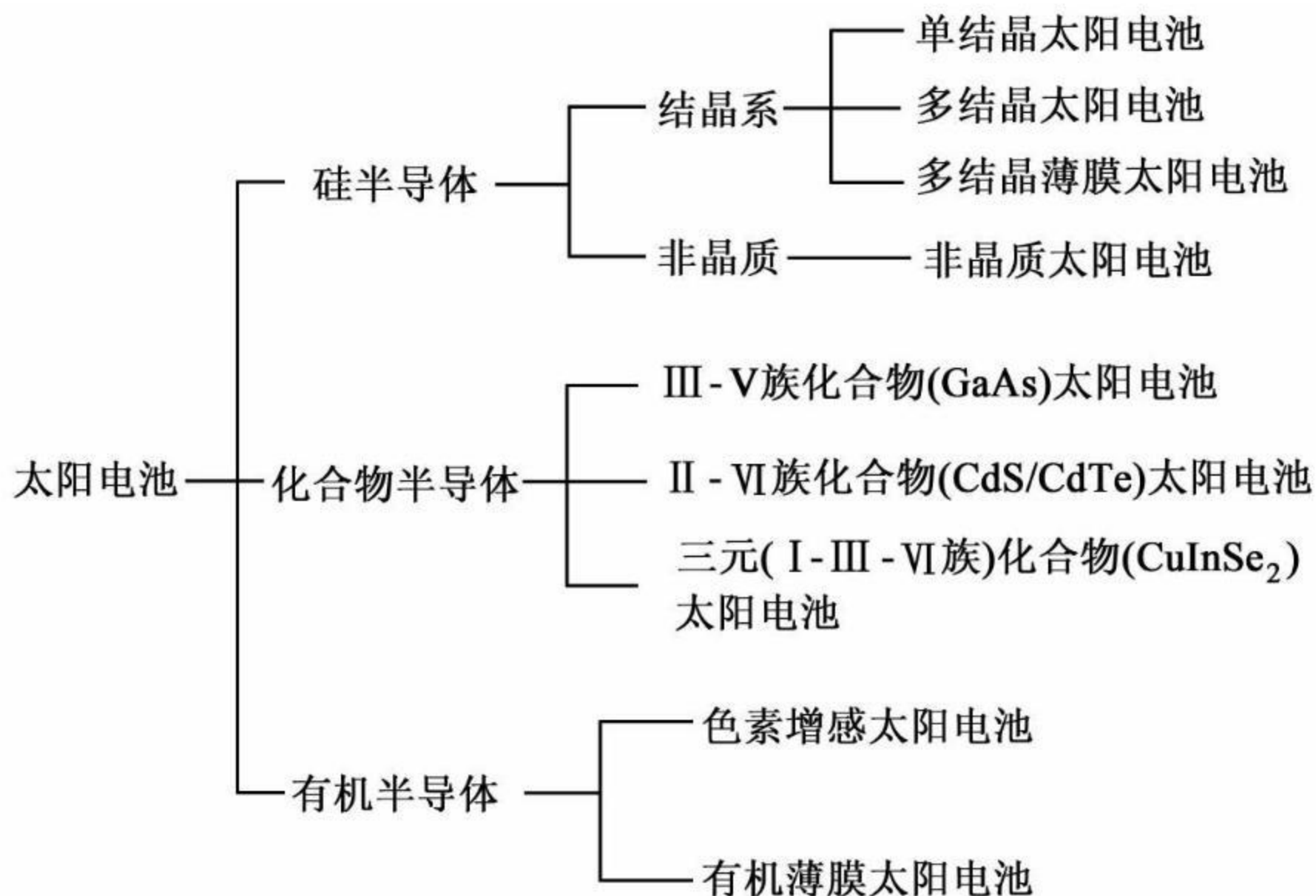


图 3.7 太阳电池的种类



3.3.1 单晶硅太阳电池

自太阳电池发明以来,单晶硅太阳电池开发的历史最长。人们最早使用的太阳电池是晶硅太阳电池。图 3.8 为单晶硅太阳电池的外观,单晶硅太阳电池的硅原子的排列非常规则,在硅太阳电池中转换效率最高,转换效率的理论值为 24%~26%,实际产品的晶硅太阳电池的转换效率为 15%~18% 以上,从宇宙到住宅、街灯等已得到广泛地应用。目前主要用于发电。

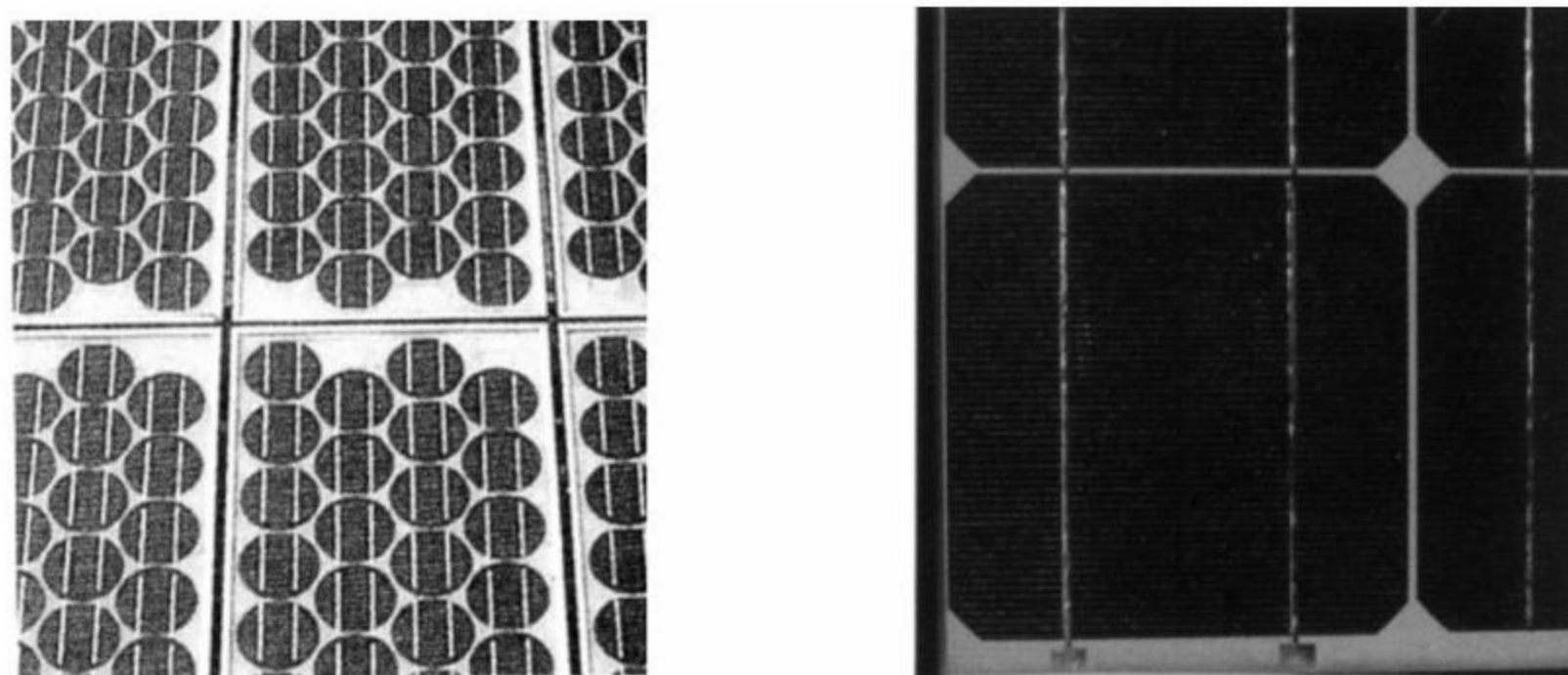


图 3.8 单晶硅太阳电池

与其他的太阳电池比较,制造单晶硅太阳电池所用硅材料比较丰富;制造技术比较成熟;结晶中的缺陷较少,转换效率较高;可靠性较高,特性比较稳定等特点。可使用 20 年以上,但制造成本较高。

3.3.2 多晶硅太阳电池

图 3.9 为多晶硅太阳电池的外观,它由单晶硅颗粒聚集而成。多晶硅太阳电池转换效率的理论值为 20%,实际产品的转换效率为 12%~14%。与单晶硅太阳电池的转换效率相比虽然略低,但由于多晶硅太阳电池的原材料较丰富,制造比较容易,因此,其使用量已超过单晶硅太阳电池,占主导地位。

由于结晶系太阳电池可以稳定地工作,具有较高的可靠性和转

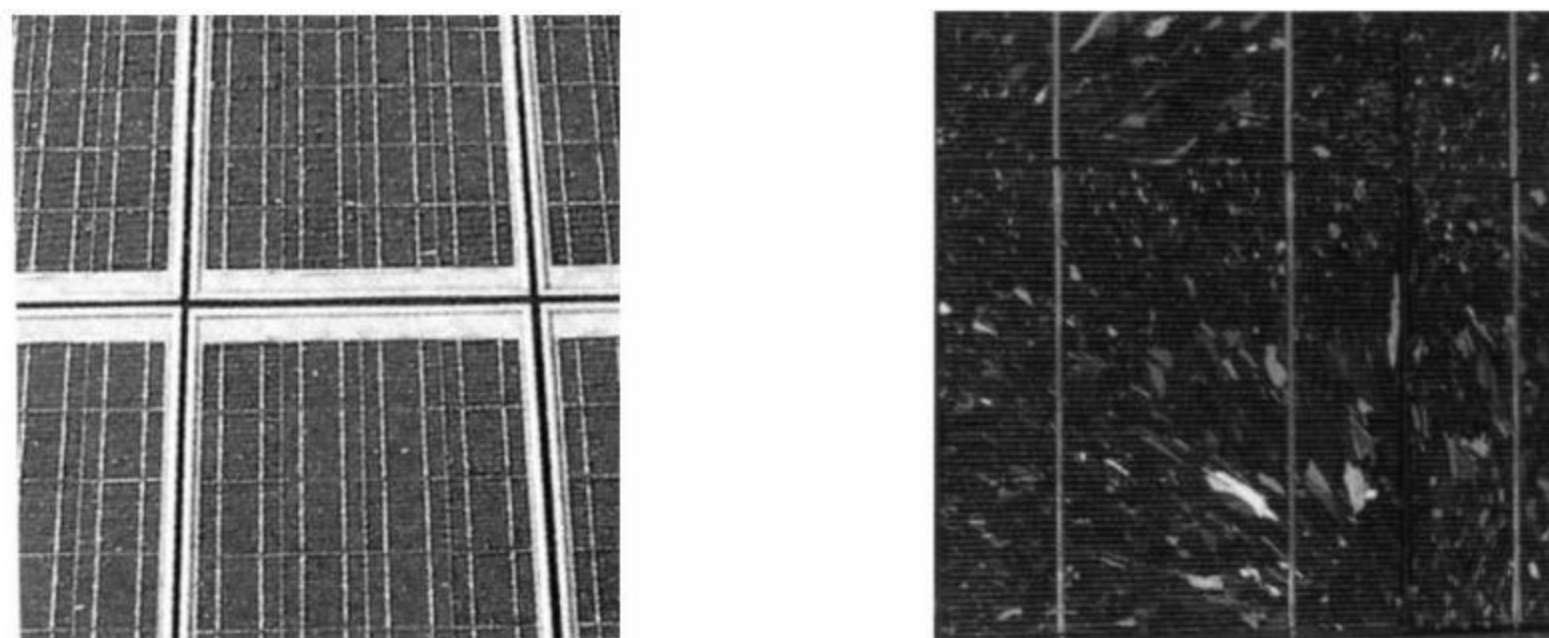


图 3.9 多晶硅太阳电池

换效率,因此现在所使用的太阳电池主要是硅太阳电池,并且在户外用的太阳电池中占主流。

3.3.3 非晶硅太阳电池

图 3.10 为非晶硅太阳电池的外观,它的原子排列呈现无规则状态,转换效率的理论值为 18%,但实际产品的转换效率为 9% 左右。这种电池早期存在劣化特性,即在太阳光的照射下,初期存在转换效率下降的现象。最近,非晶硅太阳电池的初期劣化转换效率得到提高。

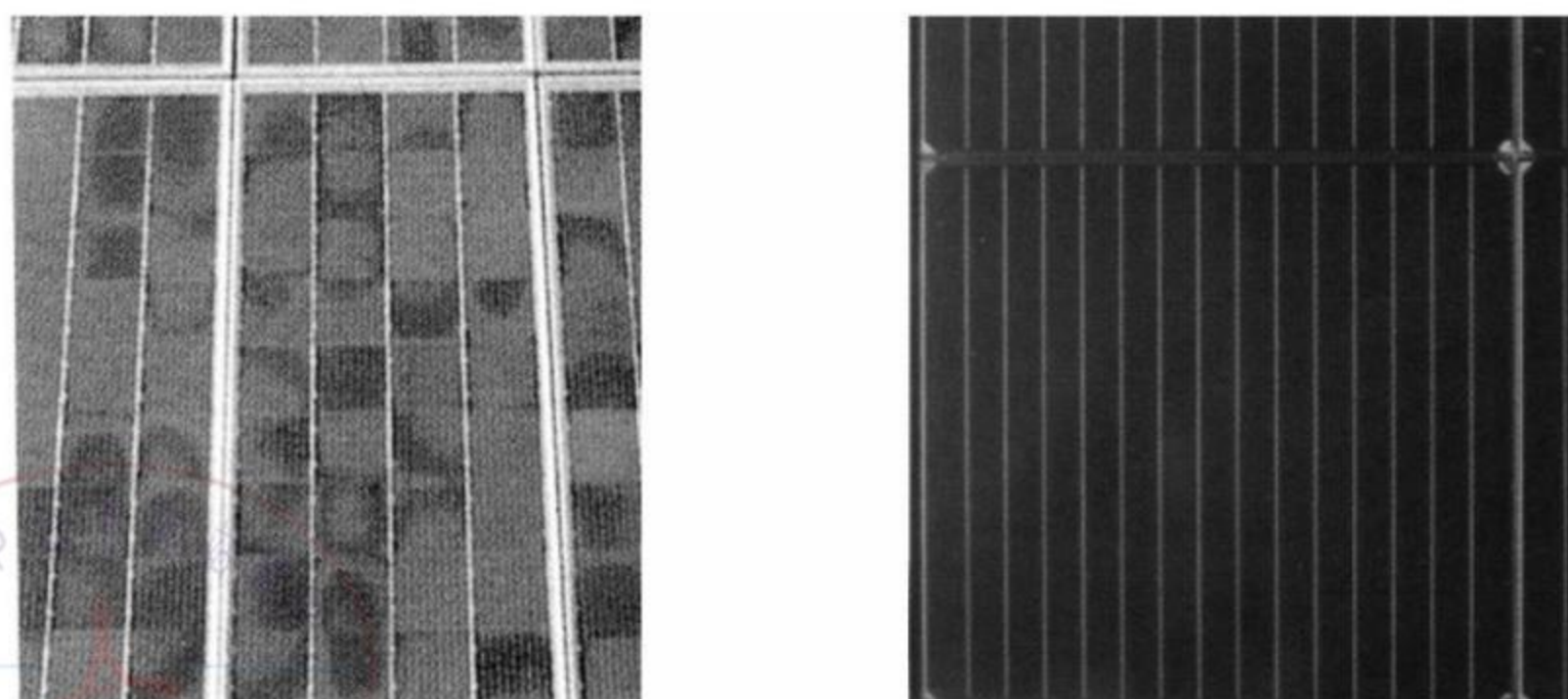


图 3.10 非晶硅太阳电池

非晶硅太阳电池是在玻璃板上使用蒸镀非晶硅的方法,在薄膜状态(厚度为数微米)下制作而成。与晶硅太阳电池相比,可大大减少制作太阳电池所需的材料,大量生产时成本较低。

尽管非晶硅太阳电池的转换效率不高,但由于非晶硅太阳电池具有制造工艺简单,易大量生产,制造所需能源、使用材料较少(厚度1微米以下,单晶硅300微米)、大面积化容易、可方便地制成各种曲面形状以及可以做成成本较低的薄膜太阳电池等特点,所以有广阔的应用前景。目前,非晶硅太阳电池在计算器、钟表等行业已被广泛应用。

3.3.4 化合物太阳电池

化合物半导体太阳电池由两种以上的半导体元素构成。主要有Ⅲ-V族化合物(GaAs)太阳电池、Ⅱ-VI族化合物(CdS/CdTe)太阳电池以及三元(Ⅰ-Ⅲ-VI族)化合物(CuInSe_2 :CIS)太阳电池等。

1. Ⅲ-V族化合物(GaAs)太阳电池

GaAs等Ⅲ-V族化合物半导体材料制成的太阳电池在宇宙发电领域已得到应用。Ⅲ-V族化合物半导体太阳电池有单结电池单元、多结电池单元、聚光型电池单元以及薄膜型电池单元等种类。这种太阳电池的转换效率较高,单结的太阳电池的转换效率为26%~28%,2结、3结的可望达到35%~42%。它可以做成薄膜太阳电池,由于其耐辐射性、温度特性较好,因此适用于聚光发电。

2. Ⅱ-VI族化合物(CdS/CdTe)半导体太阳电池

Ⅱ-VI族化合物(CdS/CdTe)半导体太阳电池于1986年首次用于计算器。1988年开发出了户外用的太阳电池组件。它具有成本低、转换效率高的特点。CdS/CdTe半导体太阳电池的转换效率的理论值一般为33.62%~44.44%。目前,小面积电池单元的转换效率达15%以上,大面积电池单元的转换效率达10%以上。将来有望作为低成本、高转换效率的薄膜太阳电池应用。

3. CIS太阳电池

由于CIS太阳电池所使用的 CuInSe_2 是直接迁移半导体,与间

接迁移硅半导体相比,光吸收系数较大。因此可作为薄膜太阳电池的材料。CIS 太阳电池可用较低的温度形成 CIS 薄膜,可做成低成本的衬底。由于光吸收层采用了化合物半导体,因此长时间使用时特性比较稳定。

目前,小面积 CIS 太阳电池的转换效率为 18.8%,大面积达到 12%~14% 以上。另外,CIS 太阳电池的转换效率会随太阳电池面积的增加而急剧下降。这是由于 CIS 太阳电池的制造技术尚未十分成熟。将来,随着制造技术的提高,有望达到晶硅太阳电池阵列的性能。

对于化合物半导体太阳电池而言,温度上升对太阳电池特性的影响不大,但由于制造太阳电池的资源较少,材料费用较高,目前主要用于宇宙发电领域。

3.3.5 有机太阳电池

有机太阳电池源于植物、细菌的光合成系的模型研究,植物、光合成细菌利用太阳的能量将二氧化碳和水合成糖等有机物。光合作用过程中,叶绿素等色素吸收太阳光所激发的能量产生电子、正孔,导致电荷向同一方向移动而产生电能。有机太阳电池是一种新型的太阳电池,它可分成湿式色素增感太阳电池以及干式有机薄膜太阳电池。

1. 色素增感太阳电池

所谓色素增感太阳电池就是在光激励状态下伴随化学反应产生光电流的光化学电池。它可分成三种:光异化型、光酸化还原型以及半导体增感型。色素增感太阳电池的构造如图 3.11 所示,由透明导电性玻璃、微结晶膜、无机酸化物或增感色素以及电解质溶液等材料构成。

这种太阳电池比硅电池便宜,可用简单的印刷方式进行制造,可大量生产,不需昂贵的制造设备。因此具有制造成本低、制造所需材料丰富、耗能少、品种多样以及对环境的影响不大等特点。据估算,晶硅太阳电池的制造成本约为 3 美元/ W_p ,而色素增感太阳电池

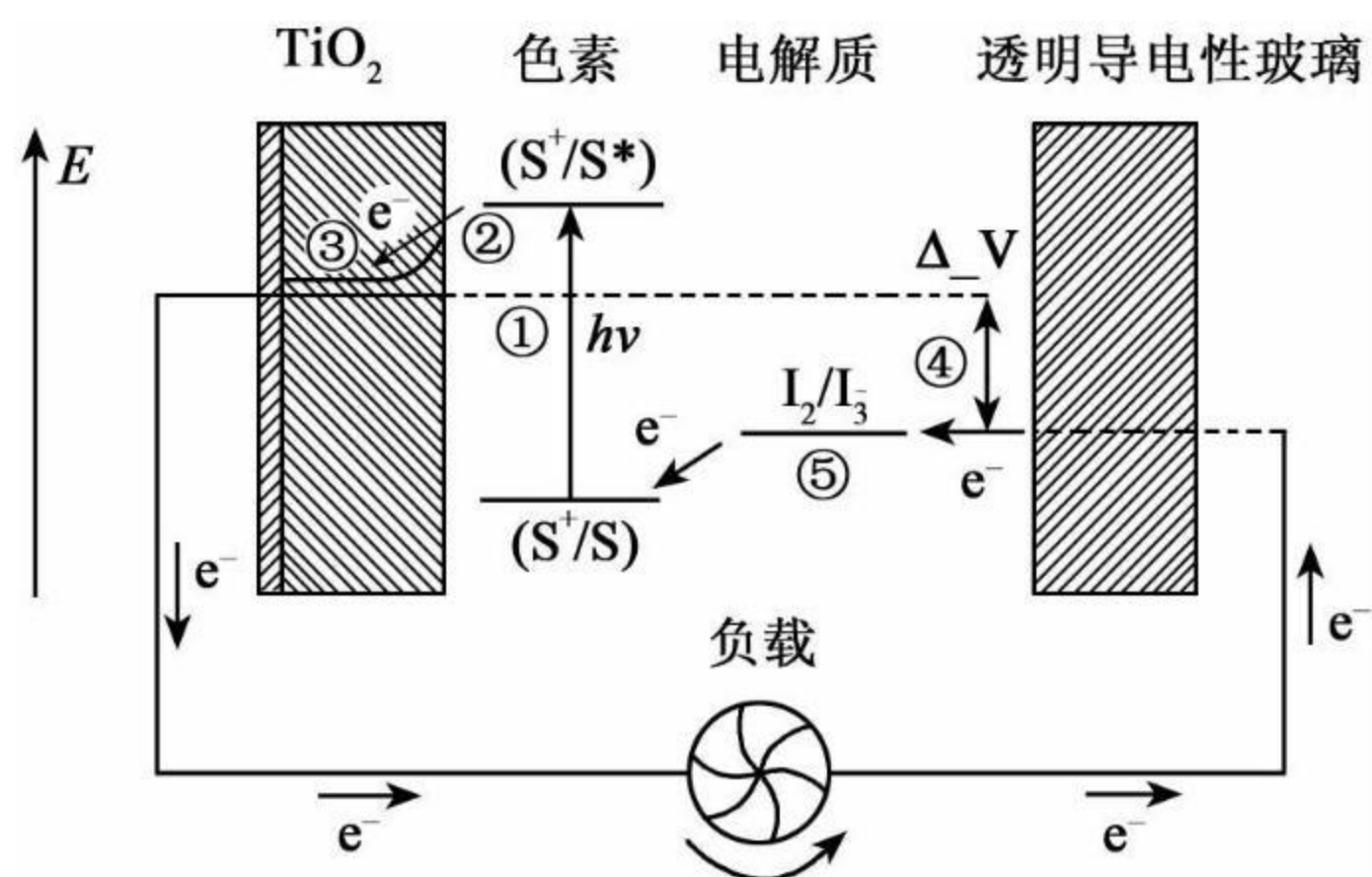


图 3.11 色素增感太阳电池

的制造成本约为 0.6 美元/ W_p , 为晶硅太阳电池的 1/5, 由此可见, 色素增感太阳电池的制造成本很低。

目前, 色素增感太阳电池的转换效率为 10% 左右。根据所使用的色素的种类和使用量, 可以制成各种各样的颜色、透明的太阳电池, 用于建材以及钟表等领域。

2. 有机薄膜太阳电池

有机薄膜太阳电池由色素或高分子材料构成。这种太阳电池的成本低、对环境无影响、制造方法简单、能耗较少。转换效率为 4.5% 左右。由于这种太阳电池柔软性较好, 因此可使用简单的方法制成各种形状的低成本太阳电池。

近年来, 由于有机太阳电池的转换效率大幅度提高, 人类已认识了光合成系的高效率转换原理, 再加上地球升温的加速, 有机太阳电池的研究、开发已成为一大亮点, 对它的研究、开发正在加速进行。

3.3.6 薄膜太阳电池

薄膜太阳电池是一种半导体层厚度在几微米到几十微米以下的太阳电池。它是在成本较低的玻璃衬底上堆积结晶硅系等材料的薄膜而形成的元件。它具有节约原材料、效率高、特性稳定以及衬底成

本较低的特点。

由于单晶硅、多晶硅太阳电池的半导体层的厚度较大,如结晶硅太阳电池的半导体层的厚度达到 $300\mu\text{m}$ 。随着太阳能发电的应用与普及,大规模生产时需要大量高纯度的硅材料,而使用原料少、效率高的薄膜太阳电池将会得到广泛地应用。

吸收系数是各种半导体材料的重要参数。吸收系数越大,光吸收层的厚度越薄。图 3.12 为能量与吸收系数的关系。由图可见,由于结晶硅是间接迁移性吸收太阳能,可见光领域的吸收系数较小,所以光吸收层的厚度较大,为 $200 \sim 400\mu\text{m}$ 。而 CdTe 、 $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$ (以下用 CIGS 表示) 以及硅系材料的吸收系数较大,用于太阳电池材料的厚度只需 $1\mu\text{m}$ 左右。可见,在使用大面积的太阳电池时,如果采用较薄的半导体层的薄膜太阳电池则可以大大节约材料、降低成本。因此,CIGS、非晶硅等材料有望在薄膜太阳电池中得到广泛应用。

薄膜太阳电池可分为硅系、II-VI 族化合物等薄膜太阳电池。硅系薄膜太阳电池可分为结晶硅系(单晶硅、多晶硅以及微晶硅)、非晶硅以及由二者构成的混合型薄膜太阳电池。一般地,非晶硅薄膜太阳电池的光吸收层的厚度为 $0.3\mu\text{m}$ 左右。为了提高非晶硅薄膜太阳电池的转换效率,人们正在研究开发非晶硅与多晶硅构成的混合型薄膜太阳电池。为了克服非晶硅薄膜太阳电池的弱点,目前,人们寄希望于多晶硅或微晶硅的薄膜太阳电池。

CIGS 系太阳电池在薄膜太阳电池中转换效率较高,将来可达到 $25\% \sim 30\%$ 。大面积组件的转换效率已达 12% ,在薄膜系中最高。而且这种太阳电池的可靠性高、安全性好、无光劣化、耐辐射性好,将来可成为下一代主流太阳电池。化合物薄膜太阳电池中,小规模 CIGS 薄膜太阳电池已有产品上市,用于住宅发电的大面积组件已进入试制阶段,将来有望用于住宅太阳能光伏系统。

薄膜太阳电池还存在一些亟待解决的课题,如微晶硅、多晶硅薄膜太阳电池需要提高小面积电池单元的转换效率;非晶硅薄膜太阳电池需要提高大面积组件的转换效率的稳定性以及降低制造工艺的成本;CIGS、 CdTe 等硅薄膜太阳电池需要提高转换效率、开放电

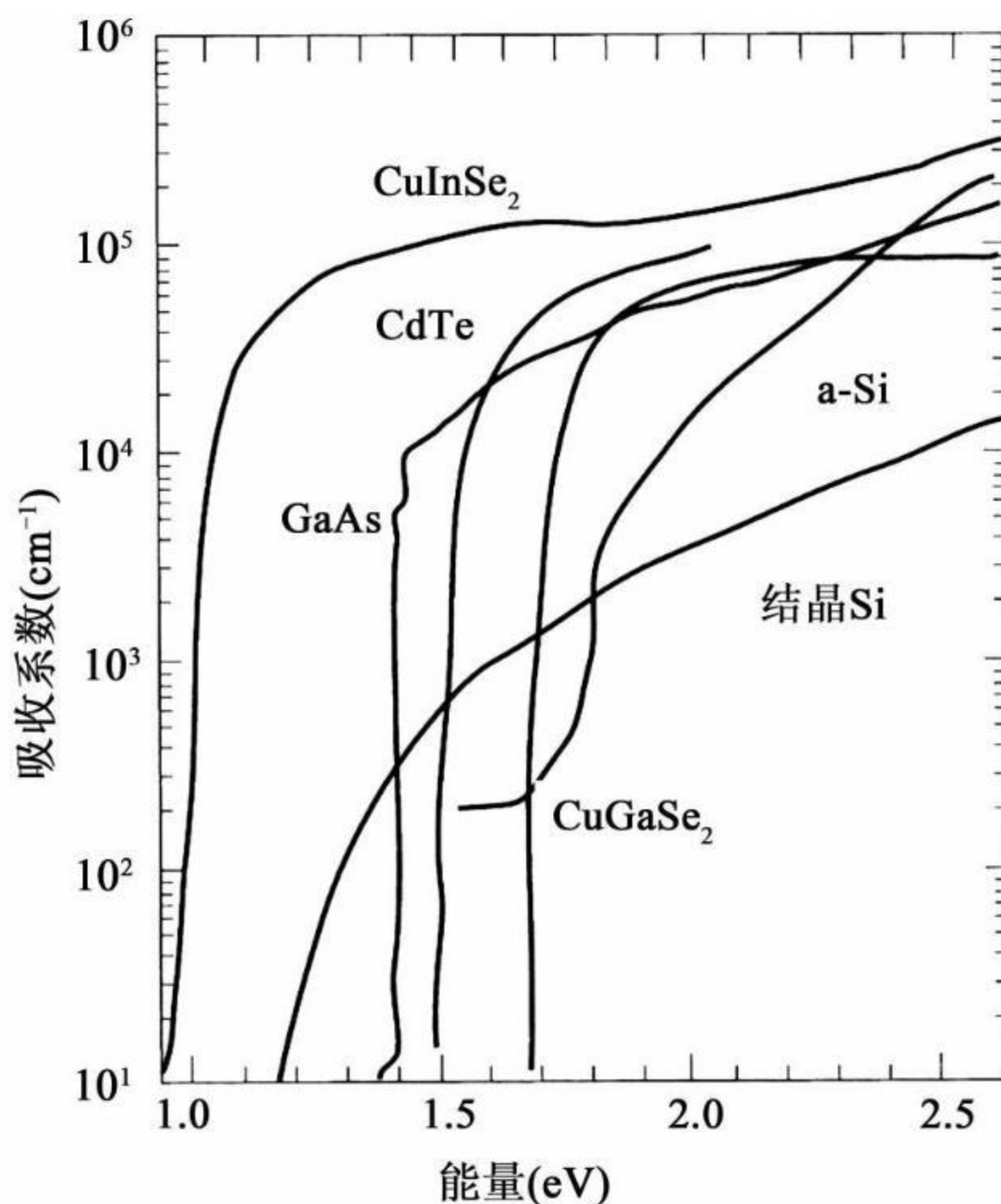


图 3.12 能量与吸收系数的关系

压、大面积均匀制膜技术等。

3.3.7 透明太阳电池

太阳电池是一种将太阳的光能转换成电能的装置。其原理是半导体吸收光并利用 PN 结的作用进行能量的转换。

透明太阳电池如图 3.13 所示,它是一种让可见光穿过,而吸收紫外光,将其转换成电能的装置。太阳光的波长分布如图 3.14 所示,由紫外光、红外光以及可见光组成。透明太阳电池只利用占太阳光能的 8% 的紫外光发电,如果将太阳电池的输入能量视为太阳光的全体能量,显然,与以前的太阳电池相比发电转换效率较低。

透明太阳电池的制造方法是:对由氧化锌半导体(N型)与铜铝氧化物半导体(P型)组成的部分,通过对气体的雾状、电路板的温度

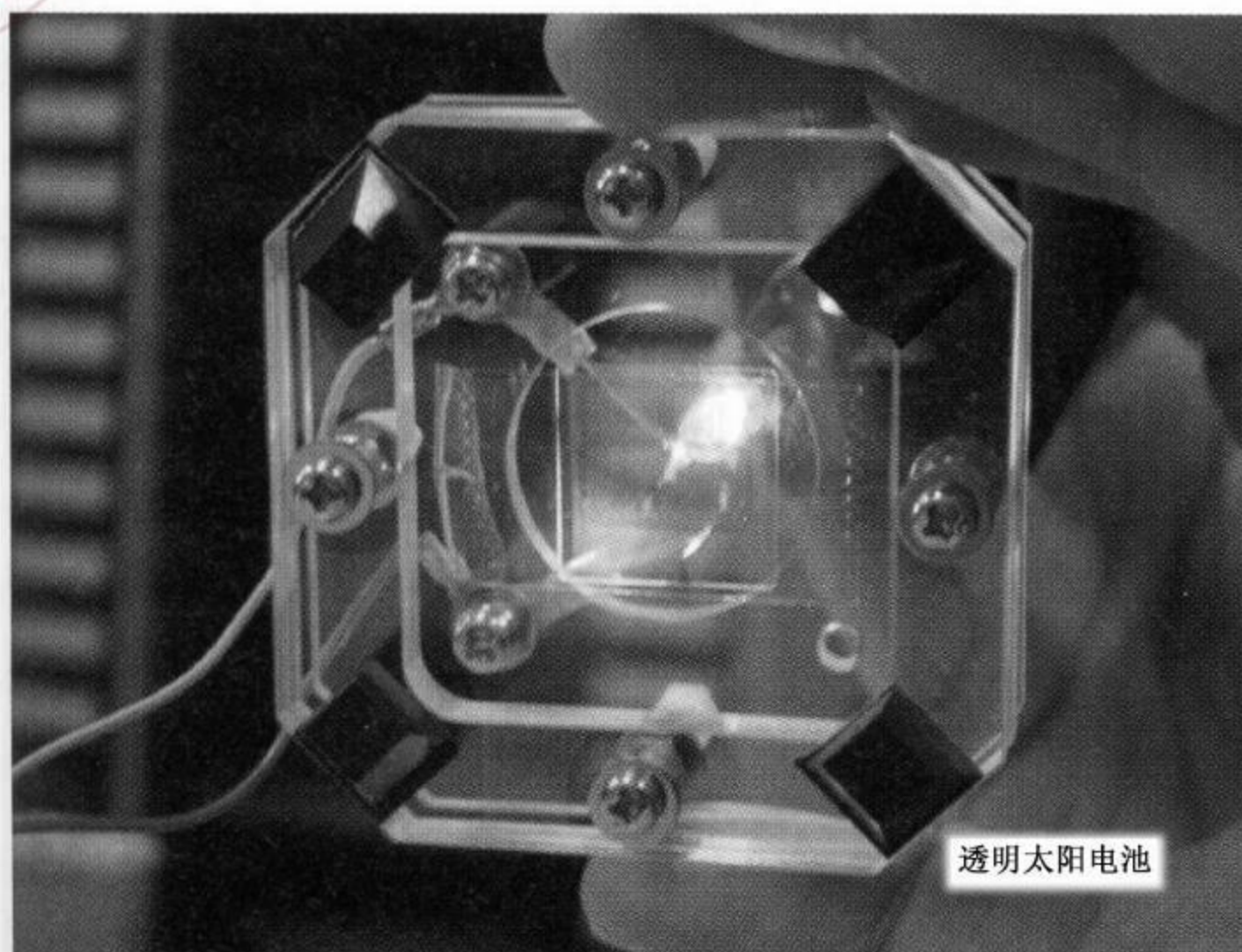


图 3.13 透明太阳电池

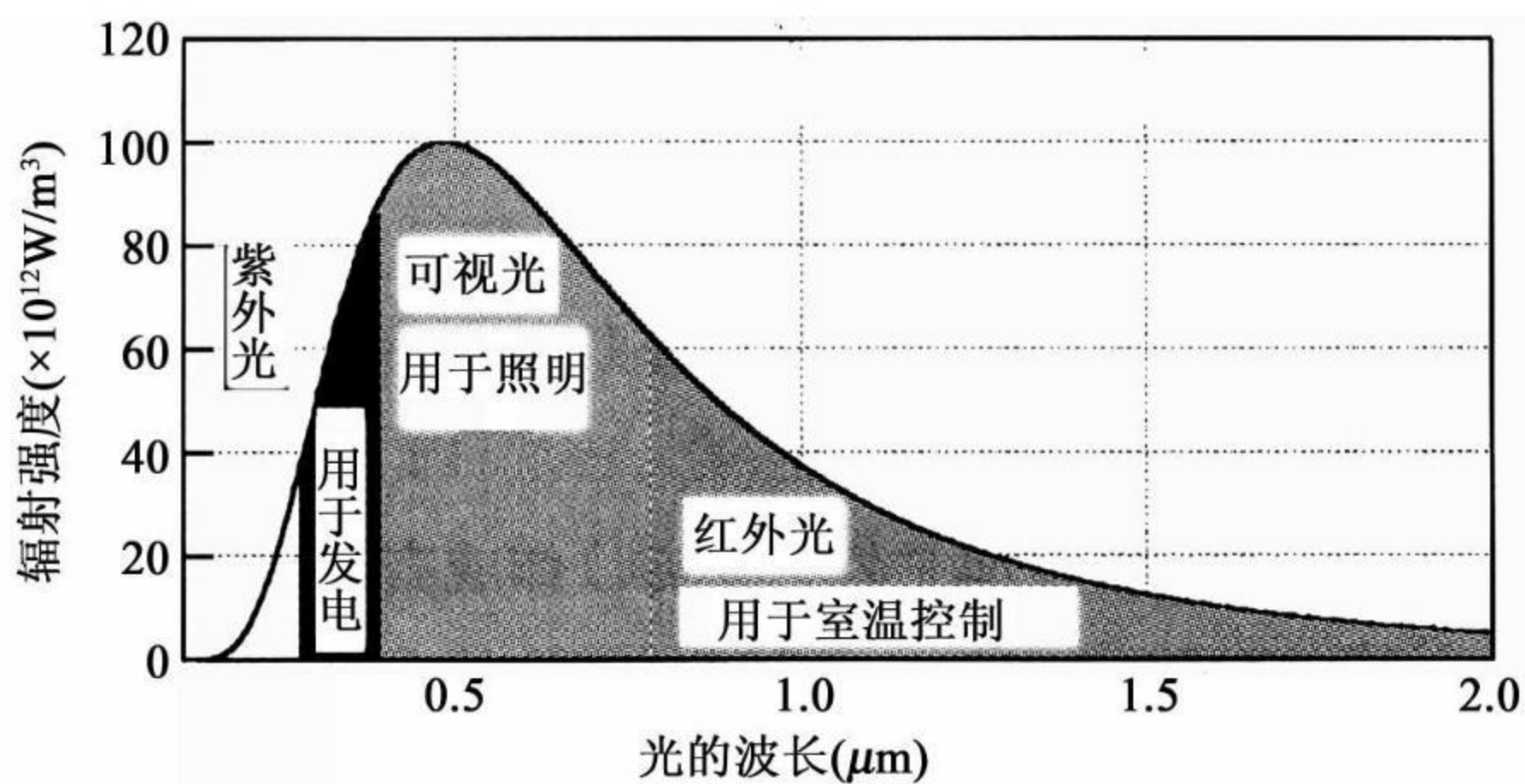


图 3.14 太阳光的波长分布

进行控制,在低于 500℃ 的温度下,在玻璃板上将这些氧化物半导体制成透明半导体。

透明太阳电池利用了太阳电池的辐射作用,可以调整热线反射,因此它可以作为窗玻璃使用。它不仅起窗玻璃的作用,而且对于房

间来说,可以起到夏防热进、冬防热出的省能效果。

由于透明太阳电池吸收紫外光发电,不影响其透明性,且具有节能等优点,因此,这项技术可以提高能源的综合利用率。

3.3.8 混合型太阳电池(HIT 电池)

太阳电池组件安装在屋顶时,如果太阳电池组件无冷却用的通风层,太阳电池组件的温度会上升,夏天晴天时会达到 70°C 以上,导致太阳电池组的转换效率随温度上升而下降。为了解决这一问题,人们研制出了混合型太阳电池。

混合型太阳电池由薄膜非晶硅与单晶硅集成,如图 3.15 所示。为了防止表面反射,在 N 型单晶硅片的表里侧分别集成了 I/P 型非晶硅与 I/N 型非晶硅,然后上面加装透明电极。

混合型太阳电池由于在其中形成了 I 层,使非晶硅与单晶硅层的表面特性提高,因此 10cm^2 太阳电池的转换效率达到 21.3%,组件的转换效率达到 17% 以上,为世界最高。还有,混合型太阳电池的温度系数为 -0.33% ,低于单晶硅太阳电池的温度系数 -0.48% ,因此,混合型太阳电池可用于如屋顶设置等温度较易上升的场合以减少出力的下降。

HIT 太阳电池具有如下的特点:

1. 结构简单、转换效率高;
2. 与以前的结晶硅系太阳电池比较,温度上升对其特性的影响较小,因此实际的发电量较多;
3. 与以前的扩散型结晶系太阳电池单元的接合形成温度 900°C 相比,形成非结晶的温度在 200°C 以下,比较节省能源;
4. 由于采用了表面、背面对称的结构,可减少因热膨胀引起的不均匀,因此可使用薄型衬底,节省资源;
5. 由于可以利用背面的入射光进行发电,因此这种电池可两面发电。

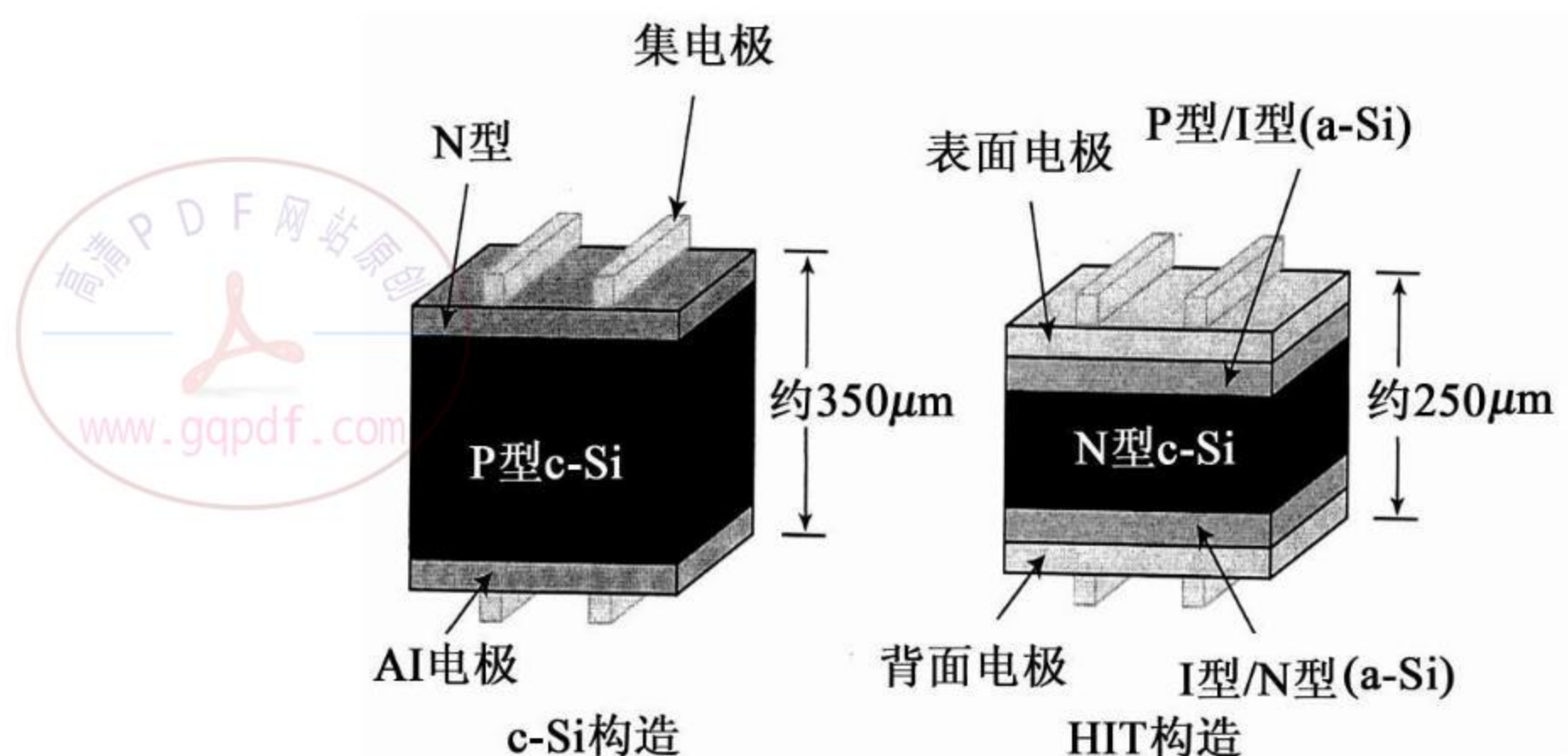


图 3.15 混合型太阳电池

3.3.9 球状太阳电池

球状太阳电池的外形如图 3.16 所示,它与一般的太阳电池的形狀不同,这种太阳电池是直径约为 1.5mm 的球形,颜色类似圆形的药丸,使用单晶硅材料制成。它可以吸收来自任何方向的光线,电池的表面可以利用直接照射的光线发电,背面可吸收反射光发电。一颗球状太阳电池的出力约为 400 毫瓦,发电转换效率已达 19% 以上。

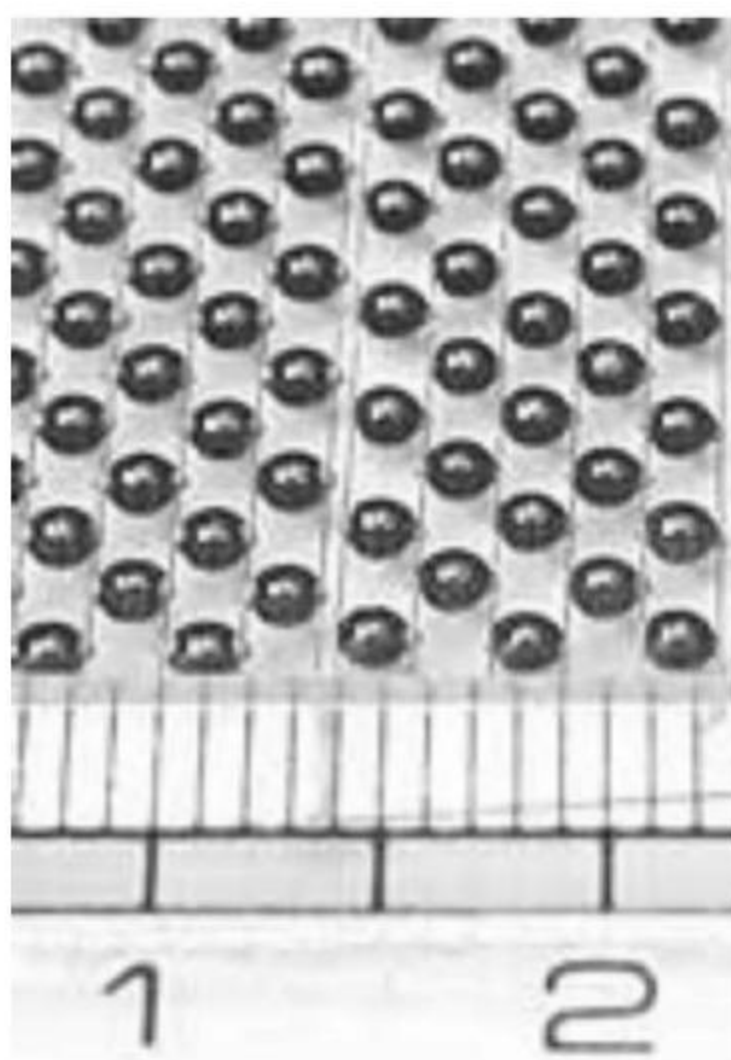


图 3.16 球状太阳电池

球状太阳电池利用无重力方法制造,制造能耗低、使用原材料少,可做成任意可弯曲的形状。将来可在住宅太阳能发电、移动电子设备、手机、交通等领域应用。

3.3.10 层积型太阳电池

层积型(Tandem)太阳电池由两个以上的太阳电池层积而成。层积型太阳电池可利用较宽波长范围的太阳光能量,因此转换效率较高。

图3.17为层积型太阳电池的构造,它是由上层太阳电池和下层太阳电池层积而成的多接合型太阳电池。入射太阳光首先被上层太阳电池吸收(短波长的光)并产生电能,未被上层太阳电池吸收的太阳光(长波长的光)则穿过上层太阳电池,照射在下层太阳电池上并产生电能。可见,这种单一的太阳电池可利用较宽波长范围的太阳光能量。

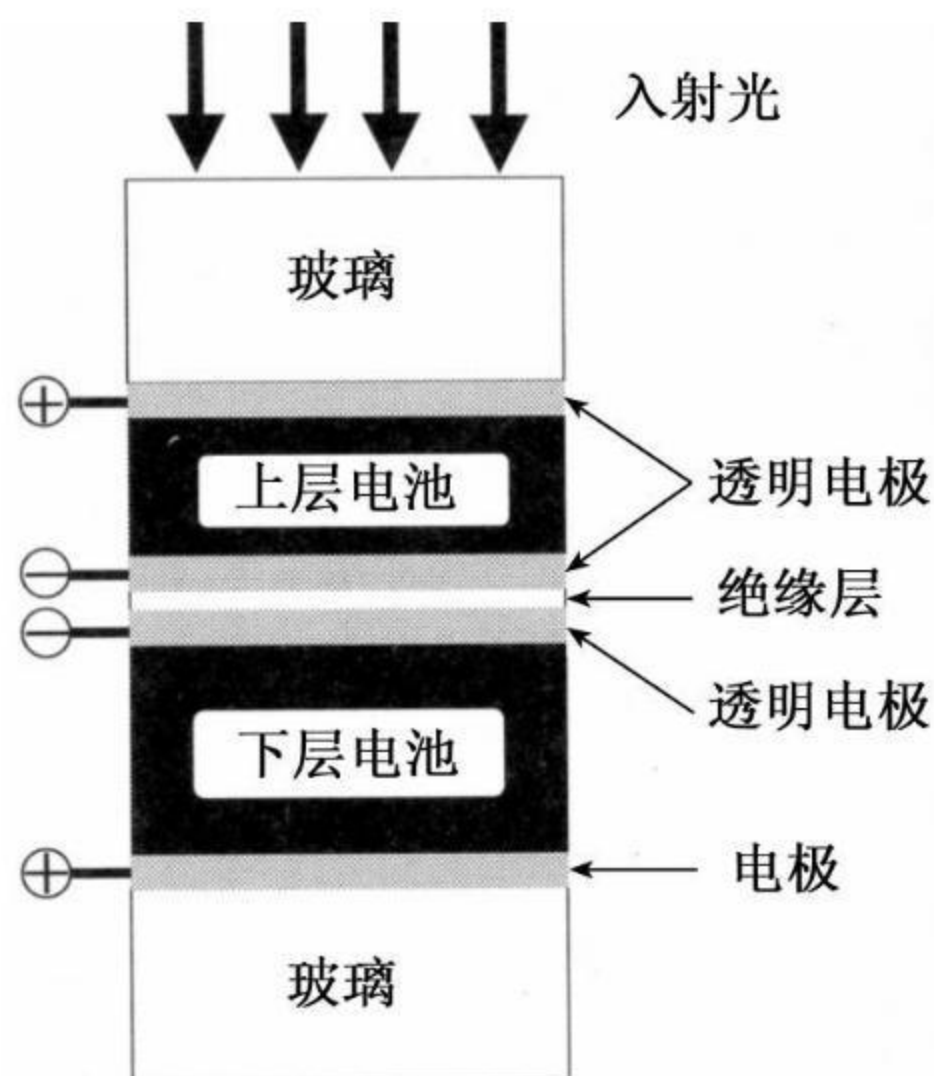


图3.17 层积型太阳电池的构造

层积型太阳电池可以由多种不同类型的太阳电池构成,如上层为非晶硅,下层为多晶硅;或者上层为非晶硅,下层为微晶硅等;也可

以由化合物半导体等材料构成。

3.4 太阳电池的特性

太阳电池的特性一般包括太阳电池的输入输出特性、分光特性、照度特性以及温度特性。

3.4.1 太阳电池的输入输出特性

太阳电池的种类较多,大小不一。太阳电池到底有多大的能力能将太阳的光能转换成电能,从以下的特性可以得知。

图 3.18 为太阳电池的输入输出特性,也称为太阳电池的电压-电流特性。图中的实线为太阳电池被光照射时的电压-电流特性,虚线为太阳电池未被光照射时的电压-电流特性。

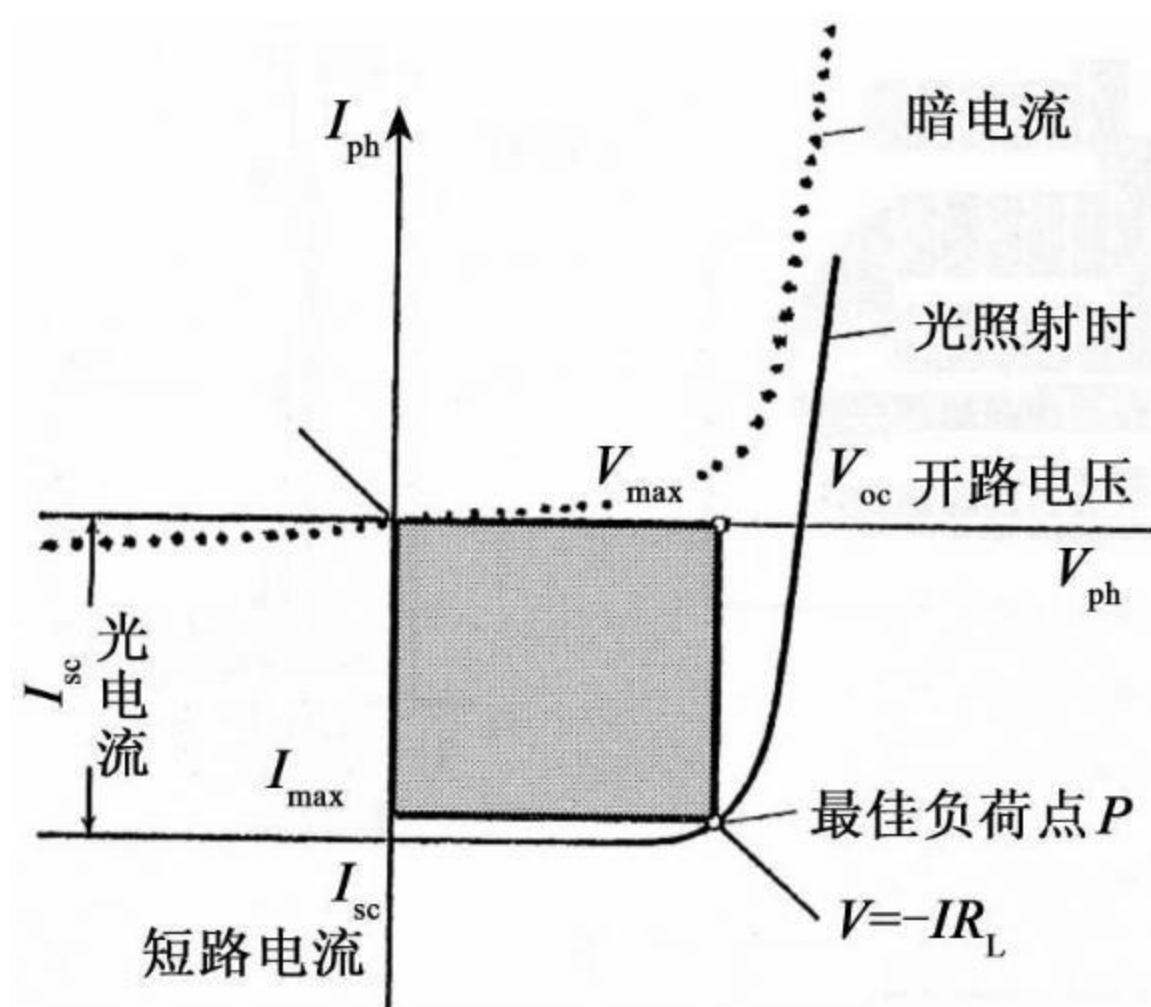


图 3.18 太阳电池的电压-电流特性

无光照射时的暗电流相当于 PN 接合的扩散电流,其电压电流特性可用下式表示:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

这里,

I_0 : 逆饱和电流的作用, 由 PN 结两端的少数载流子和扩散常量决定的常数;

V : 光照射时的太阳电池的端子电压;

n : 二极管因子;

k : 波耳兹曼常数;

T : 温度 $^{\circ}\text{C}$ 。

PN 结被光照射时, 所产生的载流子的运动方向与 (3.1) 式中的电流方向相反, 用 J_{sc} 表示。光照射时的太阳电池端子电压 V 与光电流密度 I_{ph} 的关系如下:

$$I_{ph} = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] - J_{sc} \quad (3.2)$$

这里, J_{sc} 与被照射的光的强度有关, 相当于太阳电池端子短路时的电流, 称为短路光电流密度 (Short Circuit Current Density)。

由 (3.2) 式可知, 当太阳电池开路状态时, 将会产生与光电流的大小对应的电压。即开路电压, 用 V_{oc} 表示。太阳电池端子开路时, $I_{ph} = 0$, V_{oc} 可用下式表示:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{e} \ln \left[\frac{J_{sc}}{I_0} + 1 \right] \quad (3.3)$$

当太阳电池接上最佳负载电阻时, 其最佳负荷点 P 为电压电流特性上的最大电压 V_{max} 与最大电流 I_{max} 的交点, 图中的斜线部分的面积相当太阳电池的输出功率 P_{out} , 其式如下:

$$P_{out} = VI = V \left[J_{sc} - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \right] \quad (3.4)$$

由于最佳负荷点 P 处的输出功率为最大值, 因此, 由下式即可得到太阳电池的最佳动作电压 V_{op} 以及最佳动作电流 I_{op} :

$$\frac{dP_{out}}{dV} = 0 \quad (3.5)$$

最佳动作电压 V_{op} 为:

$$\exp\left(\frac{eV_{op}}{nkT}\right) \left(1 + \frac{eV_{op}}{nkT} \right) = \frac{J_{sc}}{I_0} + 1 \quad (3.6)$$

最佳动作电流 I_{op} 为:

$$I_{op} = \frac{(J_{sc} + I_0) e V_{op} / (nkT)}{1 + e V_{op} / (nkT)} \quad (3.7)$$

当光照射在太阳电池上时,太阳电池的电压与电流的关系可以简单地用图 3.19 所示的特性来表示。如果用 I 表示电流,用 V 表示电压,也可称为 I - V 曲线。

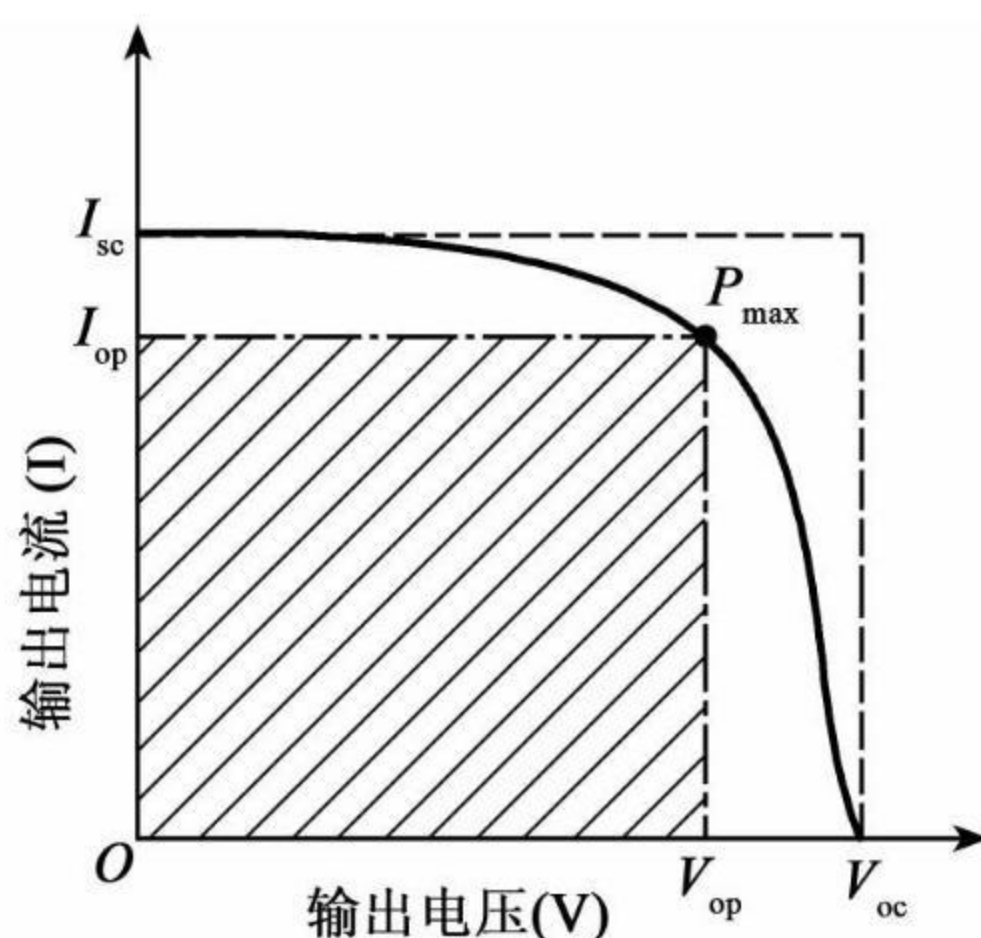


图 3.19 太阳电池的电压电流特性

图中:

V_{oc} : 开路电压;

I_{sc} : 短路电流;

V_{op} : 最佳动作电压;

I_{op} : 最佳动作电流。

如前所述,图中的最佳动作点对应太阳电池的最大出力 P_{max} ,其最大值由最佳动作电压 V_{op} 与最佳动作电流 I_{op} 的乘积得到。实际上,太阳电池的动作受负载条件、日照条件的影响,动作点会偏离最佳动作点。

1. 开路电压 V_{oc}

图中横坐标上所示的电压 V_{oc} 称为开路电压,即太阳电池的正极

(+)、负极(-)之间未被连接的状态,即开路时的电压。单位用V(伏特)表示。太阳电池单元的开路电压一般为0.5~0.8V左右。用串联的方式可以获得较高的电压。

2. 短路电流 I_{sc}

太阳电池的正极(+)、负极(-)之间用导线连接,正负极之间短路状态时的电流。用 I_{sc} 表示,单位为A(安培)。短路电流值随光的强度变化而变化。

另外,太阳电池单位面积的电流称为短路电流密度,其单位是 A/m^2 或者 mA/cm^2 。

3. 曲线因子 FF

曲线因子(Curve Fill Factor)为图中的斜线部分的长方形面积($P_{max} = V_{op} \times I_{op}$)与虚线部分的长方形面积($V_{oc} \times I_{sc}$)之比:

$$FF = \frac{V_{op} I_{op}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.8)$$

曲线因子是一个无单位的量,是衡量太阳电池性能的一个重要指标。曲线因子为1时被视为理想的太阳电池特性。一般地,曲线因子的值小于1.0,在0.5~0.8之间。

4. 太阳电池的转换效率

太阳电池的转换效率(Conversion Efficiency)用来表示照射在太阳电池上的光能量转换成电能的大小。一般用输出能量与入射能量之比来表示,即:

转换效率 $\eta = (\text{太阳电池的输出能量} / \text{入射的太阳能量}) \times 100\%$

例如,太阳电池的面积为 $1m^2$,太阳光的能量为 $1kW/m^2$,如果太阳电池的发电出力为 $0.1kW$,则:

太阳电池的转换效率 = $(0.1kW / 1kW) \times 100\% = 10\%$

转换效率10%意味着照射在太阳电池上的光能只有十分之一的能量被转换成电能。

太阳电池的转换效率是衡量太阳电池性能的另一个重要指标。但是,对于同一块太阳电池来说,由于太阳电池的负载的变化会影响其出力,导致太阳电池的转换效率发生变化。为了统一标准,一般采

用公称效率 (Nominal Efficiency) 来表示太阳电池的转换效率。即对在地面上使用的太阳电池, 太阳辐射的通过空气量 AM (Air Mass) 为 1.5 时、入射光能 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 与负载条件变化时的最大电气输出的比的百分数来表示。厂家的产品说明书中的太阳电池转换效率就是根据上述测量条件得出的转换效率。

各种太阳电池的转换效率如表 3.1 所示 (2004 年的统计)。

表 3.1 太阳电池的转换效率

	理论转换效率 (%)	实际的转换效率 (%)	
		最高值	大面积
单晶硅	25 ~ 30	24	
多晶硅	20 ~ 22	16.5	
非晶硅	15	12.3	9.2
GaAs	27	25.7	
CdTe	20	15.8	10.5
CIS	18	16.8	12.5
Gratzel 元件	33	12	7 ~ 8
有机 PN 元件		3.6	

由表可以看出, 单晶硅、多晶硅以及非晶硅太阳电池中, 单晶硅的转换效率最高, 其次是多晶硅, 非晶硅较低。为什么太阳电池的入射光的能量不能高效地转换成电能呢? 主要是由于以下的原因:

1) 比硅的禁止带幅 (能量带) 小的红外线, 波长 $0.78\mu\text{m}$ 以上的波长的光通过太阳电池时会产生损失, 虽然太阳电池的种类不同, 通过的光的波长不同, 但穿过太阳电池所产生的损失的比例一般为 15% ~ 25% ;

2) 比硅可吸收的能量带大, 在能量较大的短波长光的表面, 由于光的散乱、反射而产生损失, 这部分的损失为 30% ~ 45% ;

由于 PN 结的内部存在电场, 电子、空穴的载流子流出时所产生

的损失,这部分的损失为 15% 左右。

除了以上的理论上的损失导致太阳电池的转换效率下降之外,实际上,由于电流的流动所产生的焦耳损失,光电效应导致的电子、正孔再结合时所产生的再结合损失的存在,太阳电池的转换效率一般在 14% ~ 20%。

3.4.2 太阳电池的分光感度特性

对于太阳电池来说,不同的光照射时所产生的电能是不同的。例如,红色的光转换生成的电能与蓝色的光所产生的电能是不一样的。一般用光的颜色(波长)与所转换生成的电能的关系,即用分光感度特性来表示。

太阳电池的分光感度特性如图 3.20 所示。由图可见,不同的太阳电池对于光的感度是不一样的,在使用太阳电池时特别重要。图 3.21 所示为荧光灯的放射频谱与 AM-1.5 的太阳光频谱,荧光灯的放射频谱与非晶硅太阳电池的分光感度特性非常一致。由于非晶硅太阳电池在荧光灯下具有优良的特性,因此在荧光灯下(室内)使用的太阳电池设备采用非晶硅太阳电池较为合适。

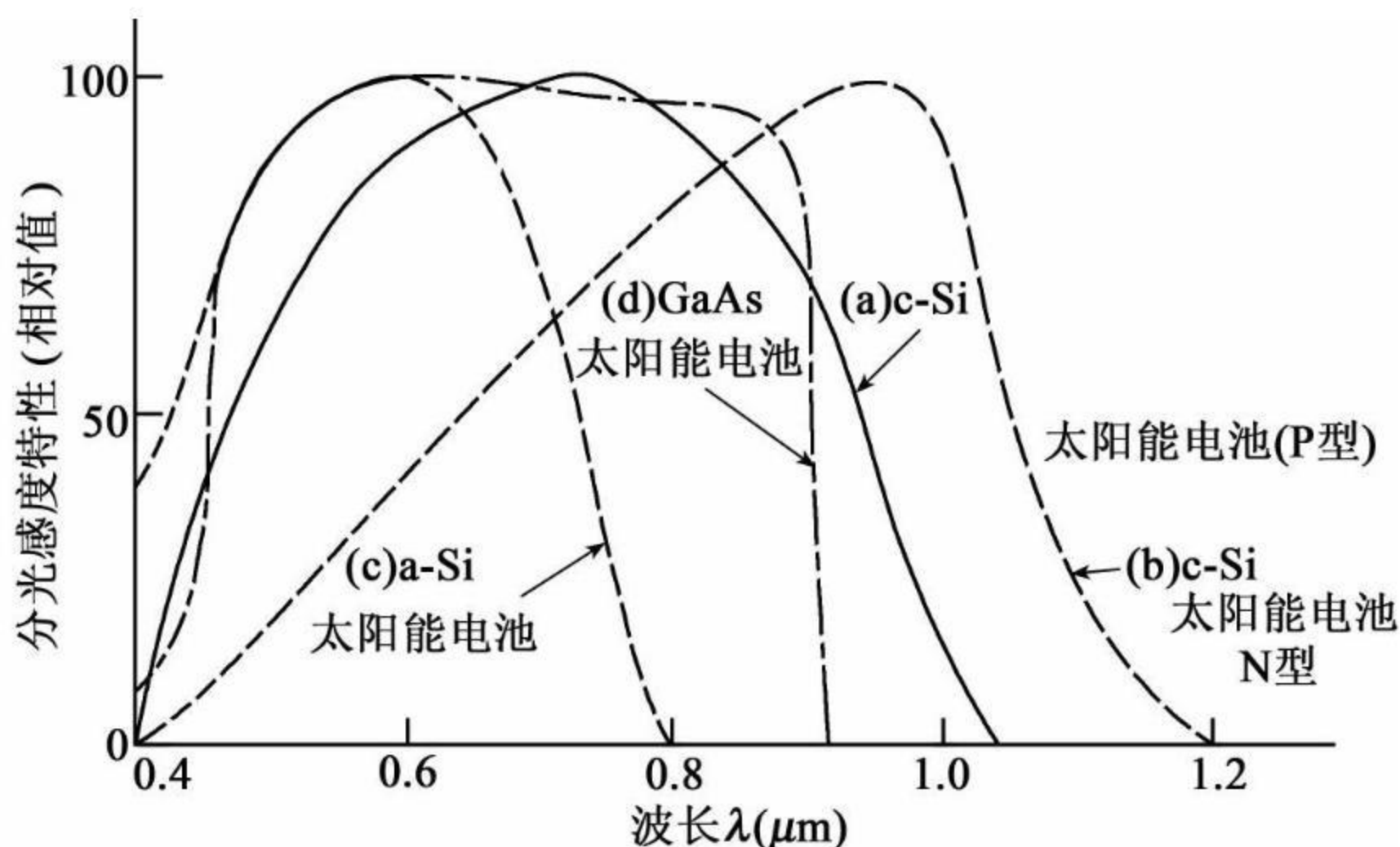


图 3.20 各种太阳电池的分光感度特性

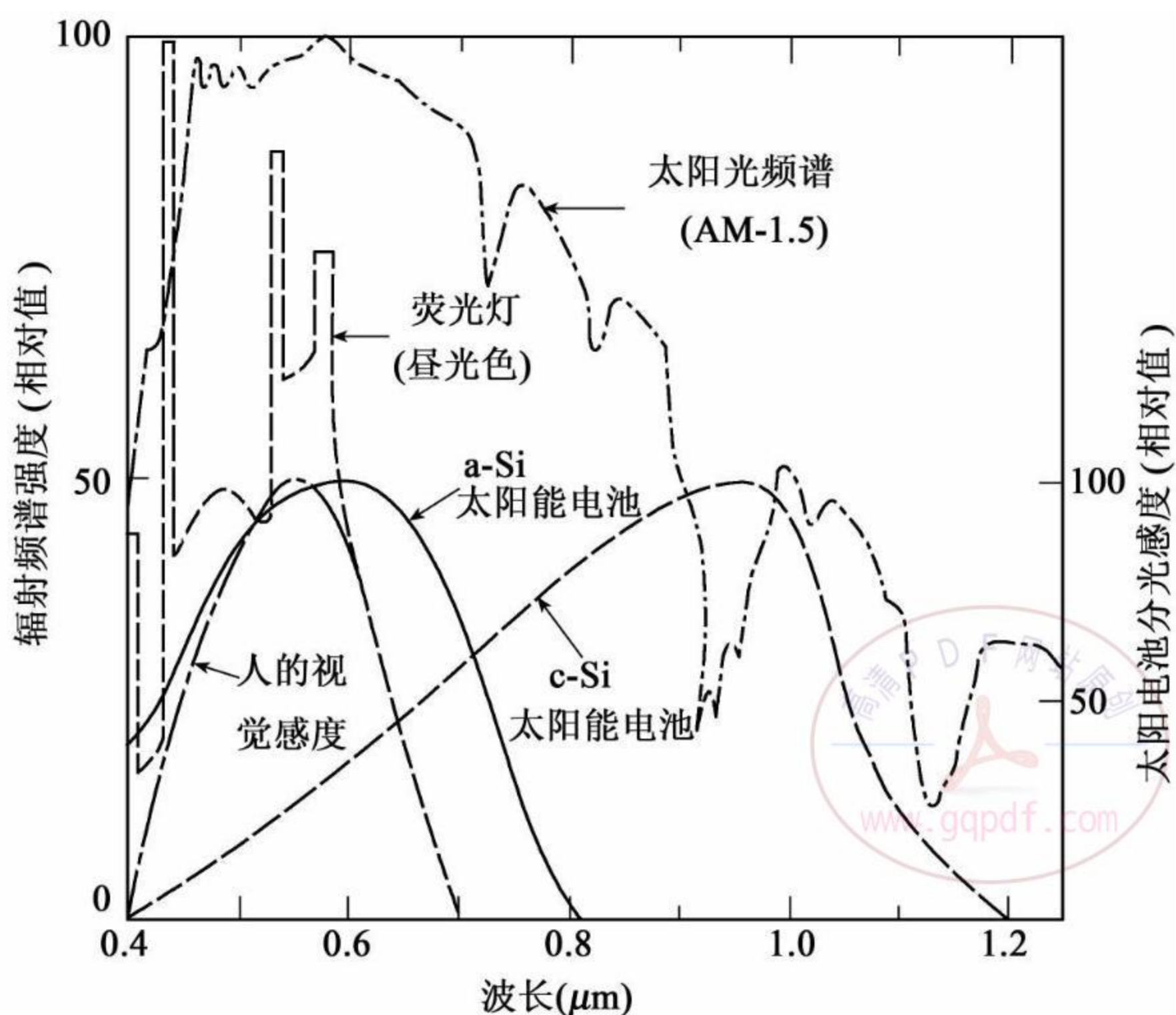


图 3.21 光源的放射频谱与太阳电池的分光感度

3.4.3 太阳电池的照度特性

太阳电池的出力随照度（光的强度）而变化。图 3.22 为荧光灯的照度时，单晶硅太阳电池以及非晶硅太阳电池的电流、电压特性。 V_{oc} （开路电压）、 I_{sc} （短路电流）以及 P_{max} （最大出力）的照度特性如图 3.23 所示。由图可知：

1. 短路电流 I_{sc} 与照度成正比；
2. 开路电压 V_{oc} 随照度的增加而缓慢地增加；
3. 最大出力 P_{max} 几乎与照度成比例增加。

另外，曲线因子 FF 几乎不受照度的影响，基本保持一定。太阳光下的照度特性如图 3.24 所示。可见，由于光的强度不同，太阳电

池的出力也不同。

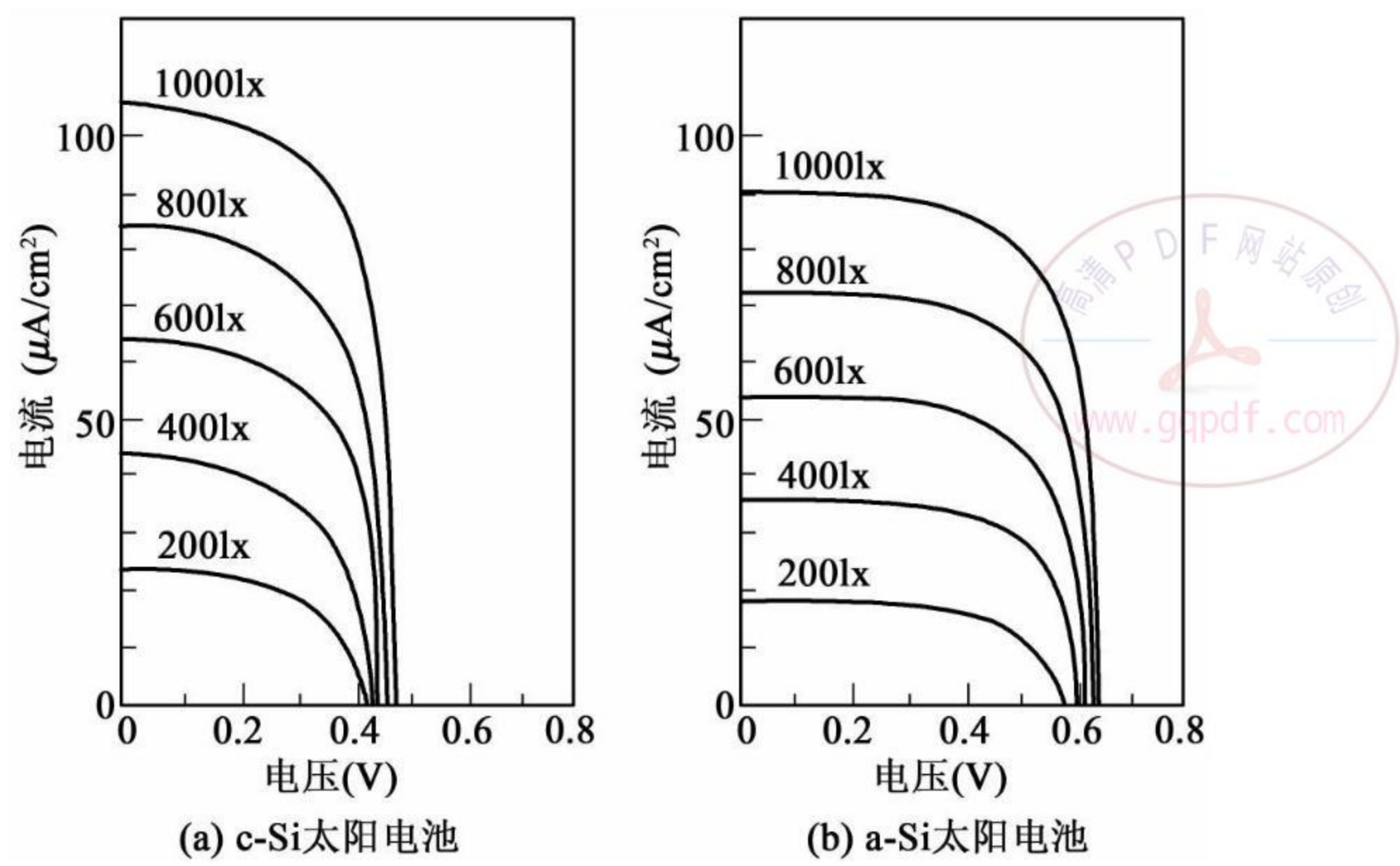
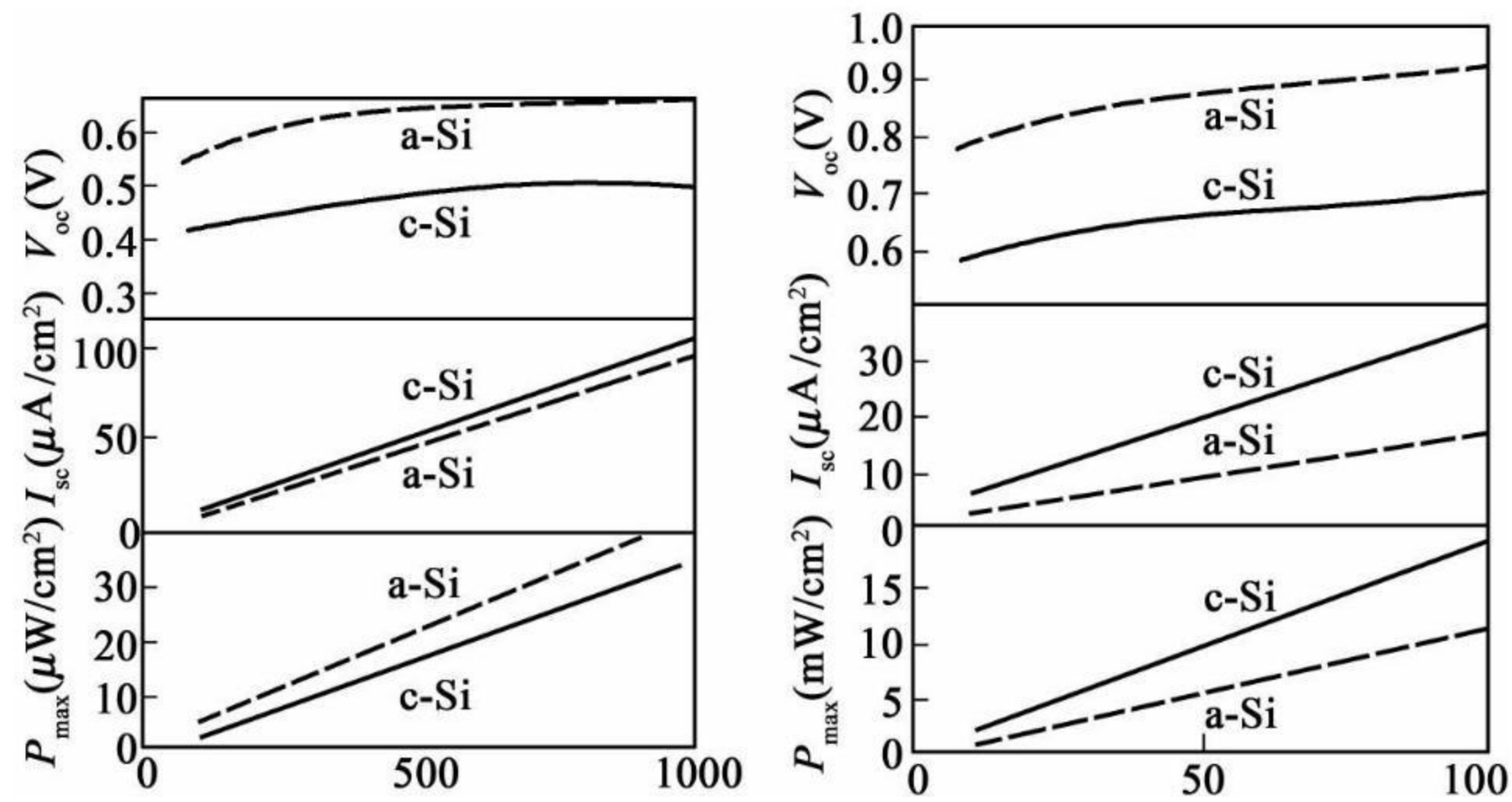


图 3.22 白色荧光灯的不同照度时太阳电池的输出特性



白色荧光灯照度 (1x)

图 3.23 荧光灯下的照度特性

AM1.5 太阳照度 (mW/cm^2)

图 3.24 太阳光下的照度特性

3.4.4 太阳电池的温度特性

太阳电池的出力随温度的变化而变化。如图 3.25 所示,太阳电池的特性随温度的上升短路电流 I_{sc} 增加,温度再上升时,开路电压 V_{oc} 减少,转换效率(出力)变小。由于温度上升导致太阳电池的出力下降,因此,有时需要用通风的方法来降低太阳电池板的温度以便提高太阳电池的转换效率,使出力增加。

太阳电池的温度特性一般用温度系数表示。温度系数小说明即使温度较高,但出力的变化较小。

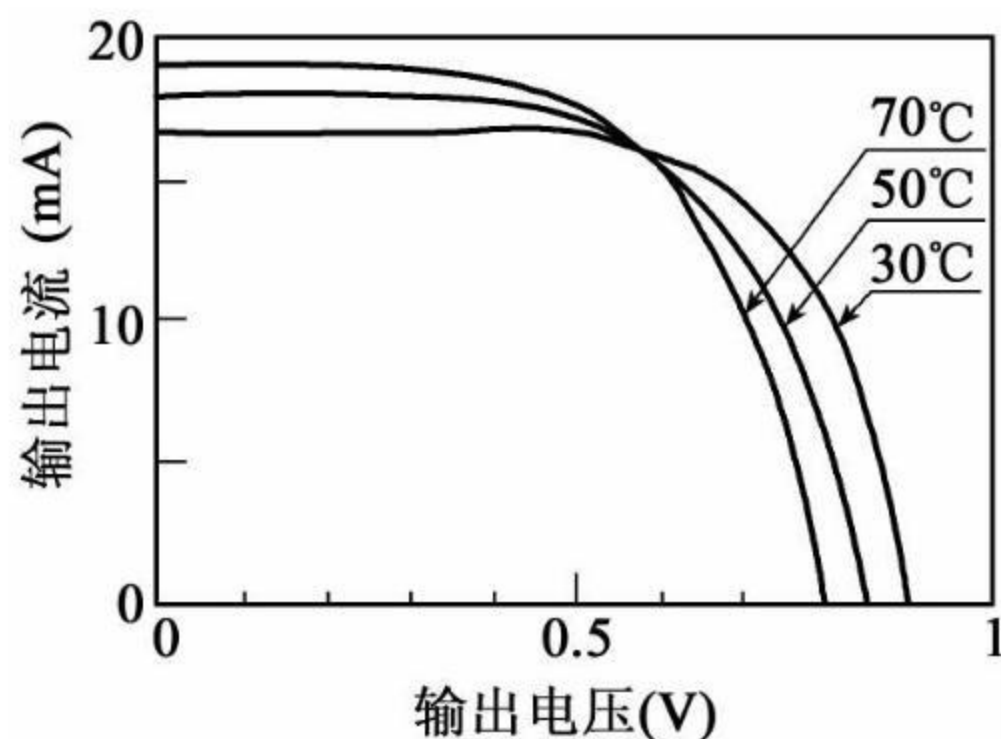


图 3.25 太阳电池的温度特性

3.5 太阳电池的制造方法

太阳电池的种类很多,如单晶硅、多晶硅、非晶硅太阳电池等。根据种类的不同其制造方法也不同。这里主要介绍单晶硅、多晶硅、非晶硅以及化合物半导体太阳电池的制造方法。

3.5.1 单晶硅太阳电池的制造方法

单晶硅太阳电池的制造方法如图 3.26、制造流程如图 3.27 所示。先将高纯度的硅加热至 $1\,500^{\circ}\text{C}$,生成大型结晶(原子按一定规

则排列的物质),即单晶硅。然后将其切成厚300~500微米的薄片,利用气体扩散法或固体扩散法添加不纯物并形成PN结。最后形成电极以及防止光线反射的反射防止膜。

这种方法的制造工艺比较复杂,由于制造温度较高,因此会使用大量的电能,成本较高。目前正在研究开发利用自动化、连续化的制造方法以降低成本。

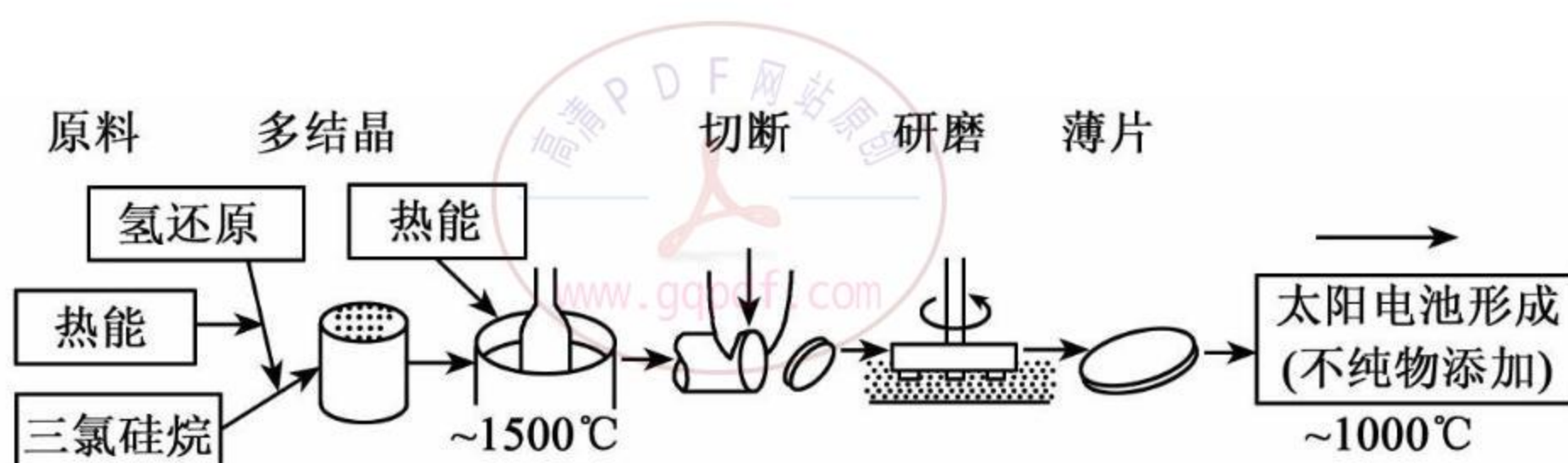


图 3.26 单晶硅太阳能电池的薄片的制造方法

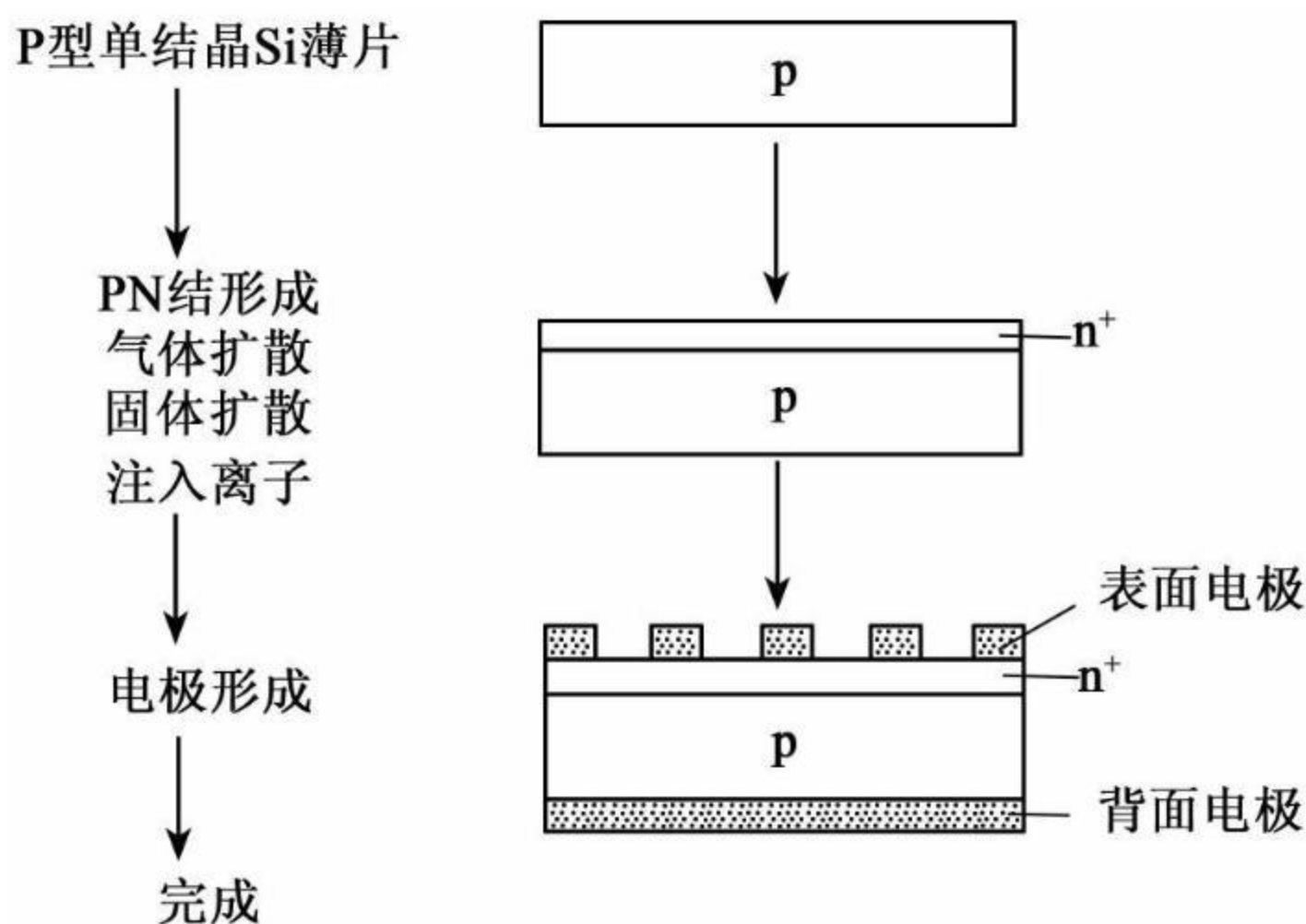


图 3.27 单晶硅太阳能电池的制造流程

3.5.2 多晶硅太阳能电池的制造方法

为了解决单晶硅太阳能电池制造工艺复杂、制造能耗较大的问题,

人们研究开发了多晶硅太阳能电池的制造方法。多晶硅是一种将众多的单晶硅的粒子集合而成的物质。多晶硅太阳能电池的制造方法有两种,如图 3.28 所示:

一种方法是将被溶解的硅块放入坩埚中慢慢地冷却使其固化的方法。然后与单晶硅一样将其切成厚 300 ~ 500 微米的薄片,添加不纯物并形成 PN 结,形成电极以及反射防止膜。

另一种方法是从硅溶液直接得到薄片状多晶硅的方法。这种方法不仅可以直接做成薄片状多晶硅,有效利用硅原料,而且太阳能电池的制造比较简单。

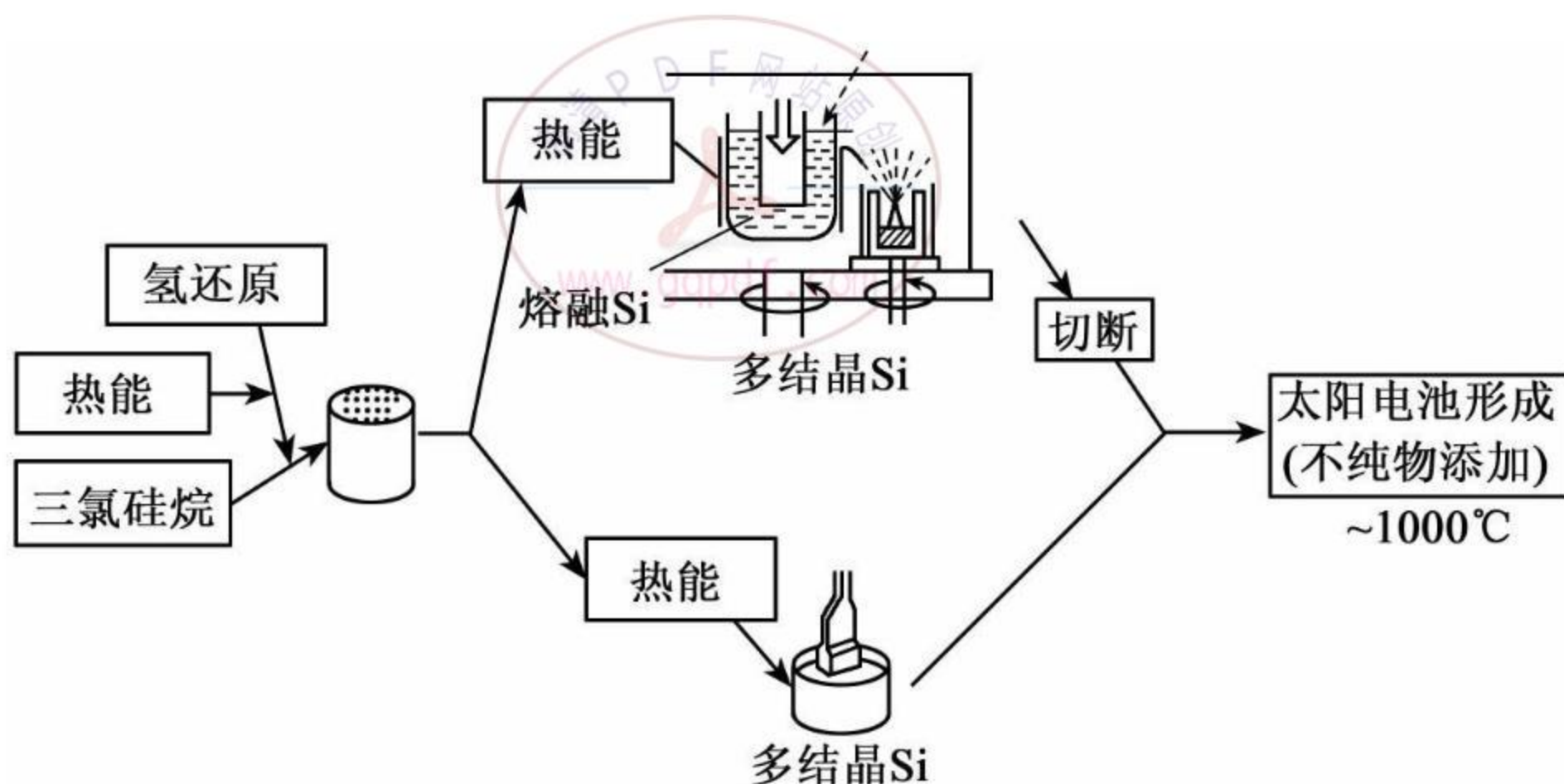


图 3.28 多晶硅太阳能电池的制造方法

3.5.3 非晶硅太阳能电池的制造方法

非晶硅太阳能电池的制造方法如图 3.29 所示。将含有硅的原料气体(如 SiH_4)放入真空反应室中,利用放电所产生的高能量使原料气体分解而得到硅,然后将硅堆积在已被加温至 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 的带有电极的玻璃或不锈钢的衬底上。如果原料气体中混入 B_2H_6 则得到 P 型非晶硅,如果原料气体中混入 PH_3 ,则得到 N 型非晶硅,从而形成 PN 结。

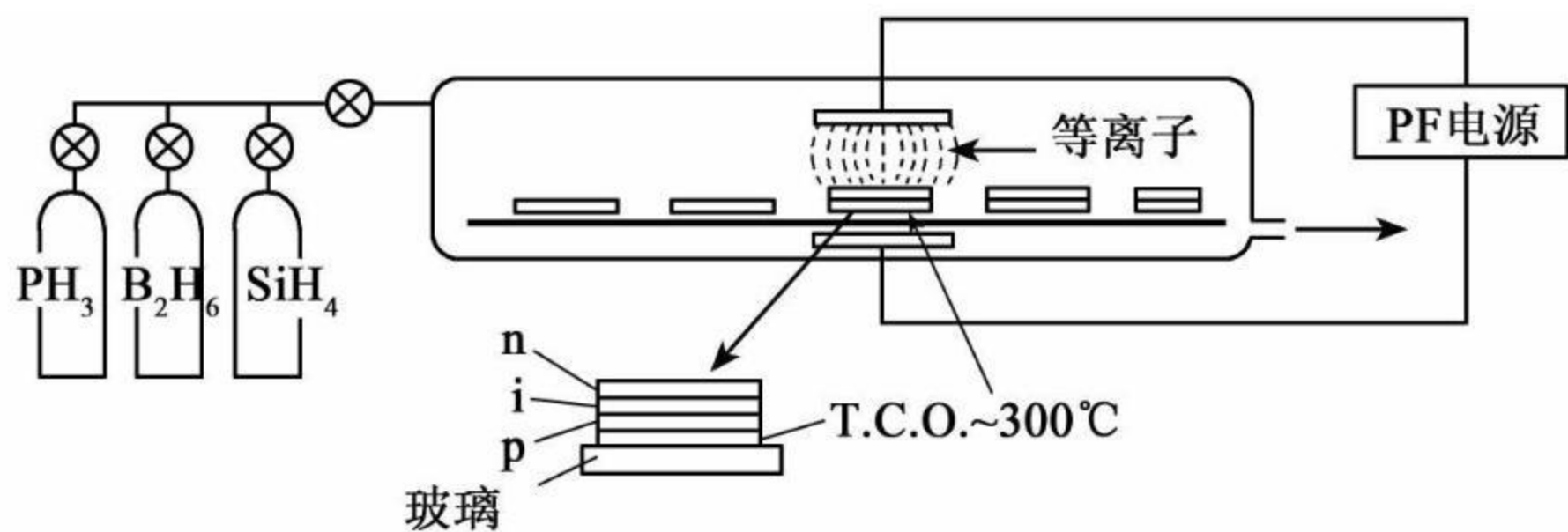


图 3.29 非晶硅太阳电池的制造方法

3.5.4 化合物半导体太阳电池的制造方法

化合物半导体是使用两种以上元素的化合物构成的半导体。如 GaAs 太阳电池就是一种化合物半导体太阳电池。由于这种化合物半导体太阳电池的波长感度与太阳频谱一致,因此具有较高的转换效率。

图 3.30 所示为化合物半导体太阳电池 GaAs 的构造和制造方法。在太阳电池的光入射面设置 AlGaAs 层以便形成表面电场,以防止由于光产生的载流子再结合。其构造是在 GaAs 的 PN 结的表面侧形成 P 型的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 而构成。

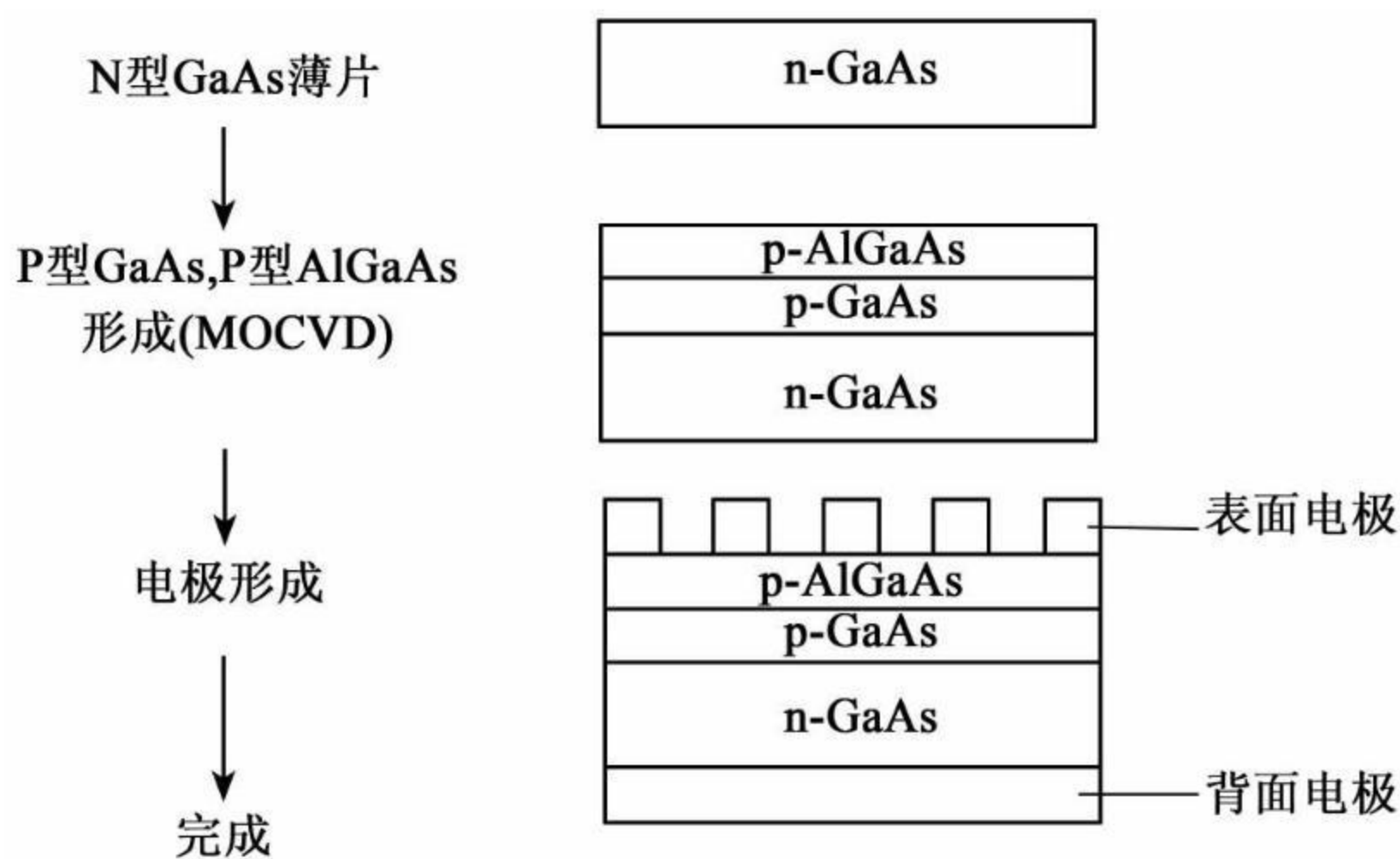


图 3.30 化合物半导体太阳电池 GaAs 的构造与制造方法

第4章 太阳电池组件

本章介绍太阳电流单元、一般的太阳电池组件、建材一体型太阳电池组件、新型太阳电池组件、采光型太阳电池组件、透光太阳电池组件、两面发电型太阳电池组件的结构和特点。最后介绍这些组件在太阳能光伏系统中的应用。

4.1 太阳电池单元、组件

太阳电池单元 (Solar Cell) 是太阳电池的最小元件, 它是由 10cm 角 (12.5cm 角或 15cm 角) 等大小的硅等半导体结晶的薄片构成的元件。一枚太阳电池单元的出力电压约 0.5V 左右, 太阳电池实际使用时, 电压需满足少则十几伏多则几百伏的要求, 需要就地将大量的电池单元连接起来, 这样极为不便。另外, 由于太阳电池在户外使用, 存在如温度、湿度、盐分、强风以及冰雹等环境因素的影响, 因此必须保护太阳电池单元, 使太阳电池长期发挥其发电功能。

为了解决太阳电池单元在使用中的问题, 一般将几十枚太阳电池单元串、并联连接, 然后封装在耐气候的箱中而构成, 称之为太阳电池组件 (Solar Cell Module)。太阳电池组件的构造方法多种多样, 一般要考虑以下的问题:

1. 为了防止太阳电池的通电部分被腐蚀, 保证其稳定性和可靠性, 必须使太阳电池具有较好的耐气候特性;
2. 为了防止由于漏电引起的发电性能降低, 必须消除其对外围设备以及人体的不良影响;
3. 防止由于强风、冰雹等气象因素对组件造成的损伤;

4. 除了应避免太阳能电池在搬运、安装过程中的损伤之外,还必须使电气配线比较容易;
5. 使太阳能电池更加美观;
6. 增加保护功能,以防止由于组件的损伤、破损等引起的系统的电气故障。

4.2 太阳能电池组件及其构造

如上所述,太阳能电池组件是将几十枚太阳能电池单元串、并联连接,然后封装在耐气候的箱中而构成的。太阳能电池组件的构造多种多样:结晶系的太阳能电池组件一般有背面衬底型组件(Substrate),表面衬底型组件(Superstrate)以及填充型组件等构造;薄膜系太阳能电池组件有衬底一体表面衬底型组件以及柔软型的组件等。

背面衬底型组件与表面衬底型组件的不同之处在于支撑组件的结构层是不是光的入射侧。如果支撑组件的结构层不是光的入射侧,则称为背面衬底型组件。反之则称为表面衬底型组件。目前,太阳能发电系统主要使用带有白色玻璃的表面衬底型的结晶系太阳能电池组件。

4.2.1 背面衬底型组件

背面衬底型组件是将太阳能电池单元配置在由玻璃等材料构成的背面衬底上,表面用透光性树脂封装而成,称为背面衬底型组件,如图4.1所示。背面衬底作为组件的支撑板,支撑板一般用FRP(Fiber Refined Plastic)等有机材料或不锈钢板等金属薄板,也可用玻璃等材料。

4.2.2 表面衬底型组件

图4.2为在玻璃等材料的透光性衬底上配置好太阳能电池单元,然后在其背面封装而成的表面衬底型组件的构造。由于考虑到组件的耐气候性等因素,一般采用将玻璃衬底侧面向光的入射侧(采光

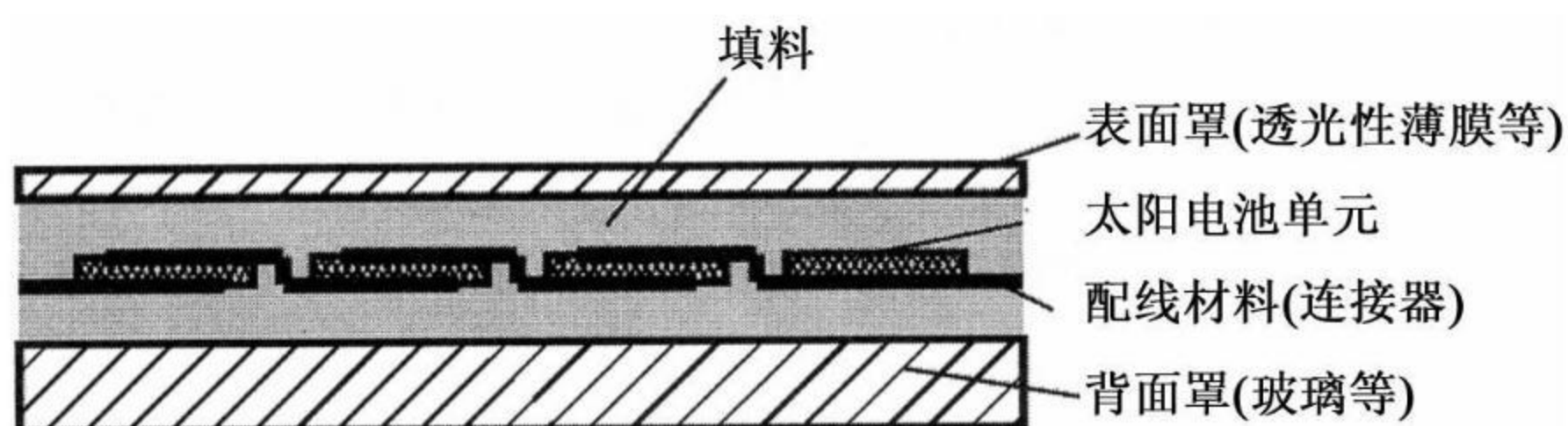


图 4.1 背面衬底型组件

面侧)的结构,并将表面衬底作为组件的支撑。近年来表面衬底型组件的应用占主导地位,它被广泛用于结晶系太阳能电池发电系统。

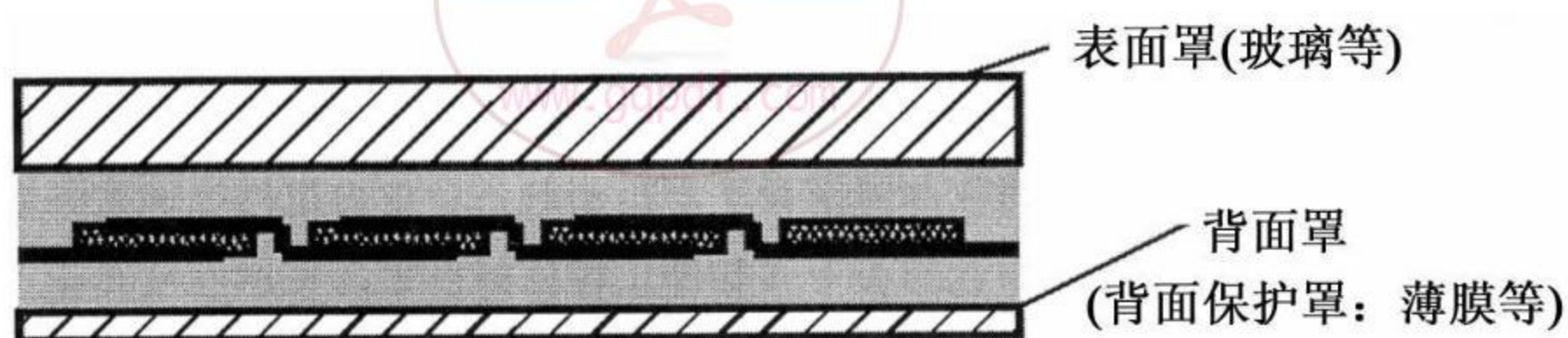


图 4.2 表面衬底型组件

4.2.3 填充型组件

填充型的太阳能电池组件的构造如图 4.3 所示。它的光的入射侧、背面侧均为太阳能电池的结构层,均为太阳能电池的支撑板。

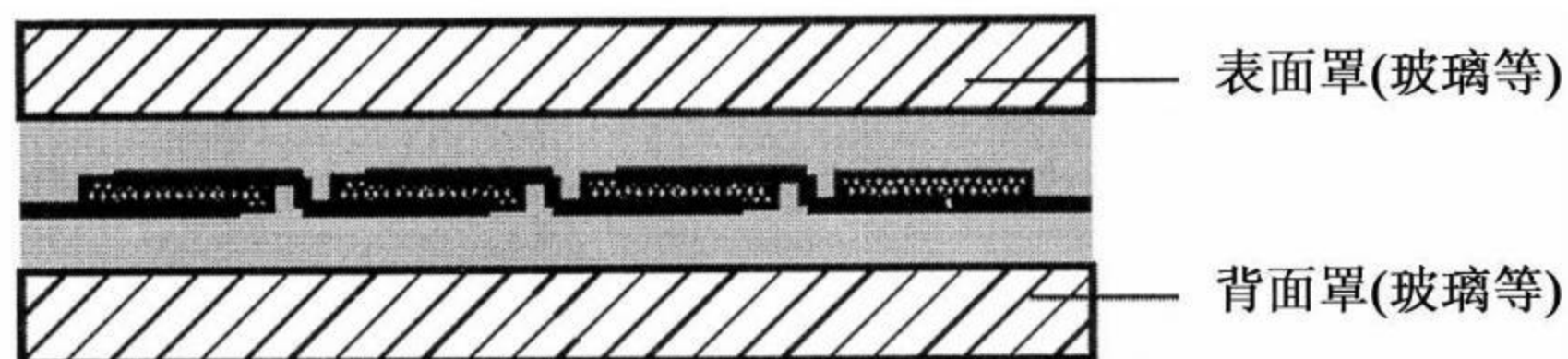


图 4.3 填充型组件

4.2.4 衬底一体表面衬底型组件

由于表面衬底型的薄膜太阳电池可以在大面积衬底上直接形成,因此可以使组件的结构大大简化。图 4.4 为衬底一体表面衬底型组件。

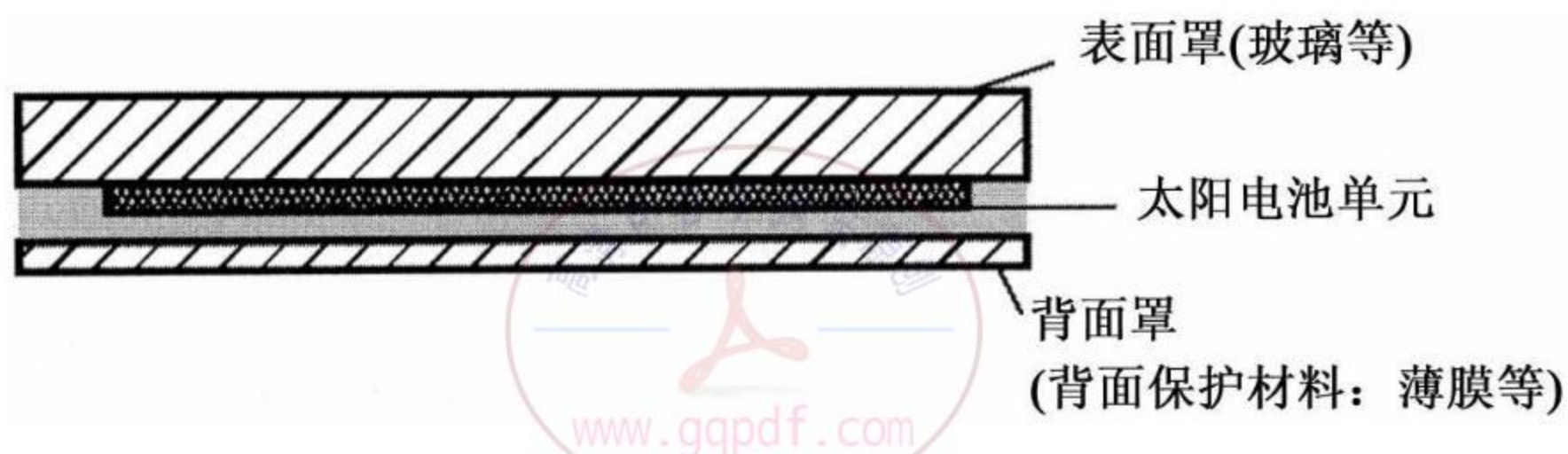


图 4.4 衬底一体表面衬底型组件

常见的太阳电池组件的构造如图 4.5 所示,它由太阳电池单元、表面罩、背面罩、填充材料以及框架组成。即用具有良好的耐气候填充材料将封装好的太阳电池单元安放在表面罩与背面罩之间构成。为了提高周围的密封性能,与框架相连的部分一般使用硅等密封性能较好的材料将太阳电池密封。用于组件间的电气连接的端子箱安装在背面中央部位。

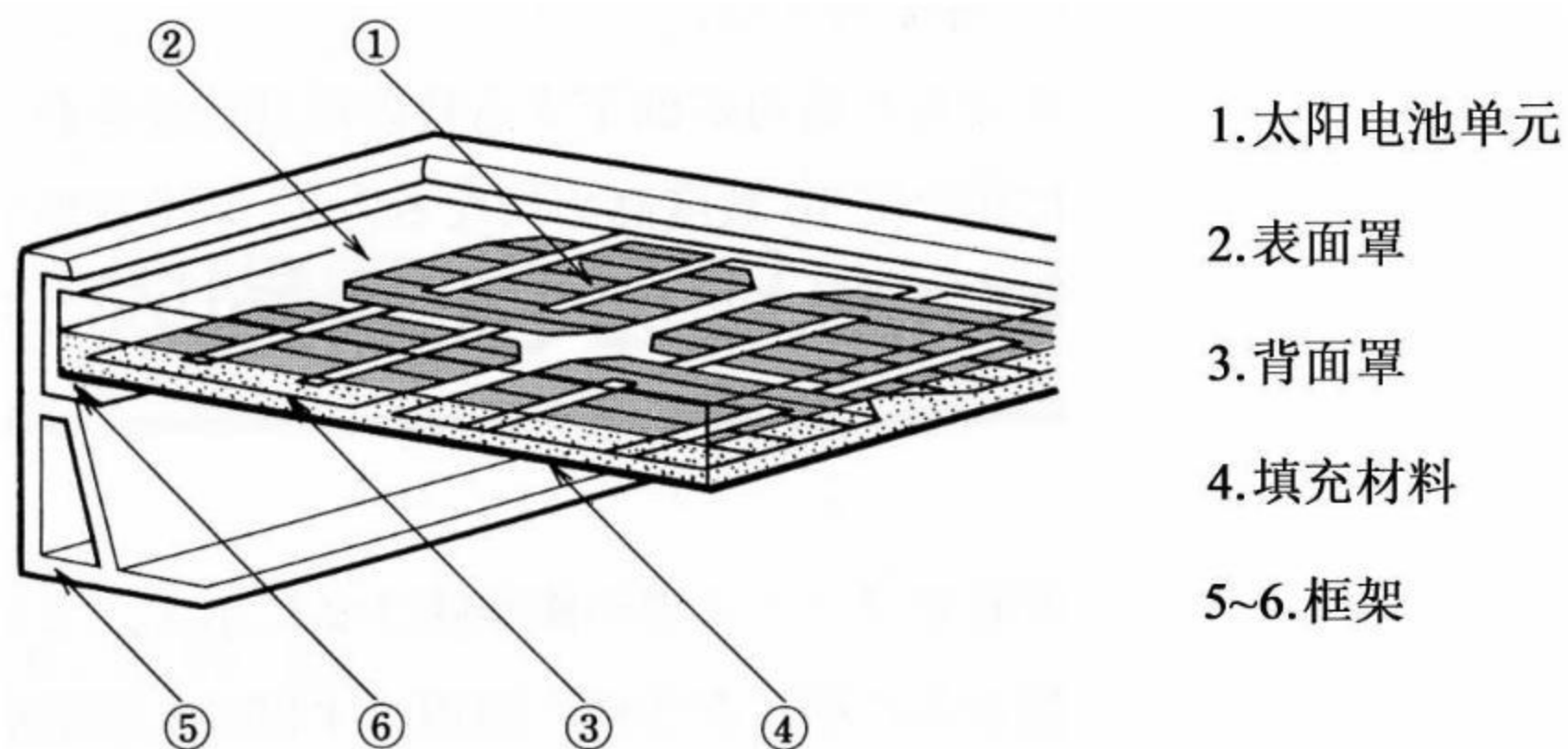


图 4.5 太阳电池组件的构造

4.3 太阳电池组件的种类

太阳电池组件可分成以下几种,即一般的直流出力太阳电池组件、建材一体型太阳电池组件、采光型太阳电池组件以及新型的太阳电池组件等。

建材一体型太阳电池组件可分成建材屋顶一体型组件、建材墙壁一体型组件以及柔软型太阳电池组件;采光型太阳电池组件包括由结晶系太阳电池构成的采光型太阳电池组件以及由薄膜太阳电池构成的透明型太阳电池组件。关于新型太阳电池组件,这里主要介绍交流出力太阳电池组件、蓄电功能内藏的太阳电池组件以及带有融雪功能的太阳电池组件等。

4.3.1 一般的直流出力太阳电池组件

对于一般的直流出力太阳电池组件来说,组件的尺寸因厂家而异,有1m角长的,也有 $1\text{m} \times 0.5\text{m}$ 角长的。一枚太阳电池组件的输出电压因厂家、形式而异,一般为 $17 \sim 40\text{V}$ 。输出功率为 $50 \sim 100\text{W}$,最近也有超过 190W 的太阳电池组件问世。太阳电池组件构成如图4.6所示。



4.6 太阳电池组件



4.3.2 建材一体型太阳能电池组件

通常,在建筑物上安装太阳能电池时,先在屋顶上设置专用台架,然后,在其上安装太阳能电池板,这样会使建筑物的外观受到影响。另外,专用台架在太阳能光伏系统的成本中所占比例较大,一般占9%左右,对降低整个系统的成本具有一定的影响,而且安装费用也较高。

太阳能光伏系统大量应用时,需要解决两方面的问题:一是使结构更加合理,二是使太阳能电池组件的成本降低,以降低用户的费用。解决方法之一是使用具有太阳能电池与建筑材料双重功能的建材一体型太阳能电池组件,这种太阳能电池组件是将建筑材料与太阳能电池阵列融为一体,使结构更加合理。另外,建材一体型太阳能电池组件可以作为建筑施工的一部分,可以在新建的建筑物或翻新建筑物的过程中一次安装完成,即可以同时完成建筑施工与太阳能电池的安装施工,大大降低安装费用、施工费用,降低系统的价格。

1. 建材一体型太阳能电池组件的断面

建材一体型太阳能电池组件的断面构造如图4.7所示。在组件的背面由屋顶用钢板,表面由氟树脂胶片构成,然后与加固材料、绝缘材料等一起用粘结剂粘结而成。

这种组件与玻璃型的组件相比不易破损,适用于拱形建筑物的太阳能光伏系统,具有用途广、适用性强等优点。

2. 建材一体型太阳能电池组件的种类

与建筑材料一体构成的新型太阳能电池组件可分成两种,即建材屋顶一体型组件,建材墙壁一体型组件以及柔软型组件。其中,建材屋顶一体型组件主要用于个人住宅用太阳能光伏系统,建材墙壁一体型组件主要用于大楼、建筑物等,柔软型太阳能电池组件则主要应用于窗户玻璃、曲面建筑物等。

然而,建材一体型太阳能电池组件除了要满足电气性能之外,还必须满足建筑材料所要求的以下的各种性能:1) 强度、耐久性:太阳能电池组件必须满足防水性的要求,如漏雨、漏水等,以及台风、地震时的

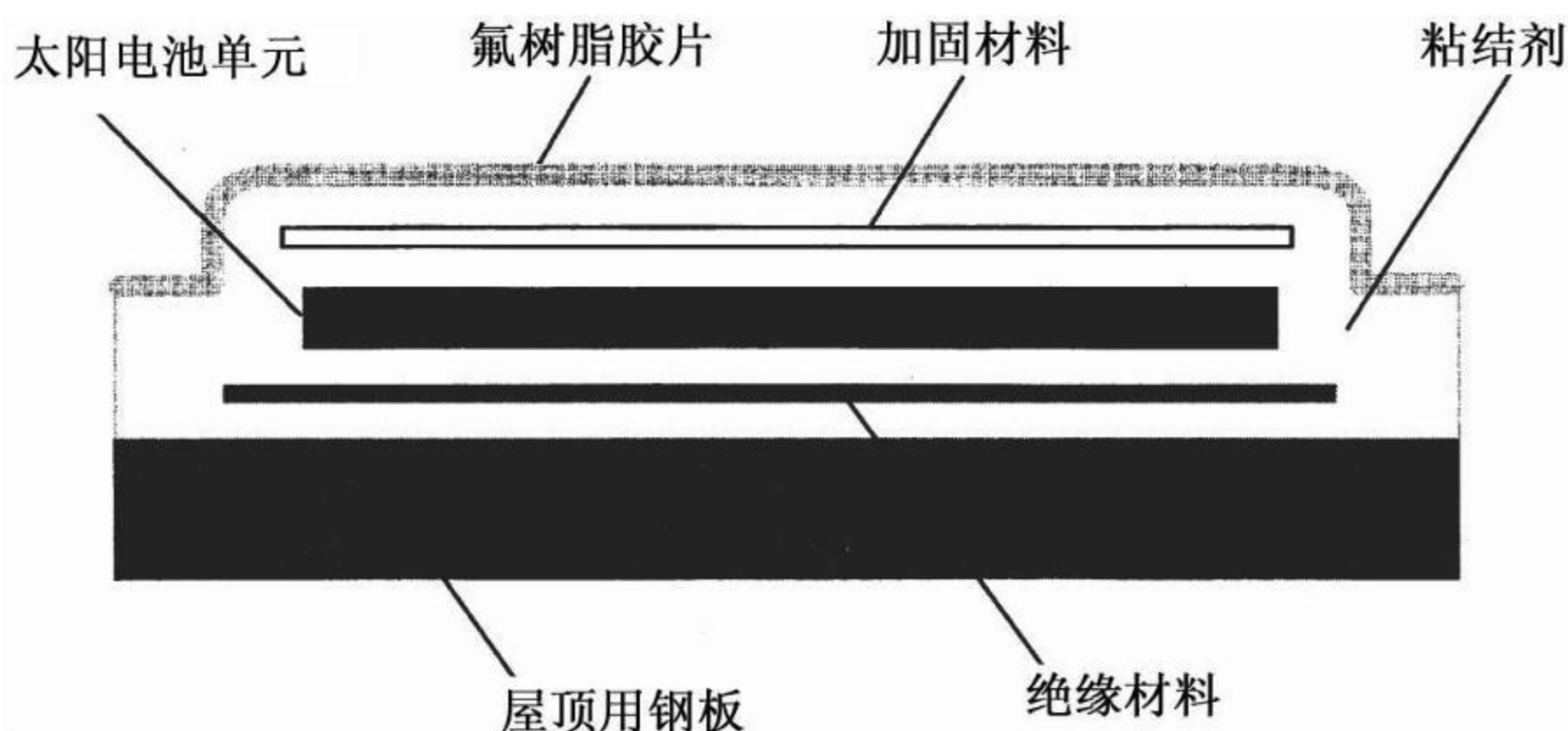


图 4.7 建材一体太阳能电池组件的断面构造图

机械强度的要求；2) 防火、耐火性：特别是太阳能电池瓦与屋顶材料构成的太阳能电池组件必须满足防火、耐火的要求；3) 美观、外观性：屋顶会影响街道、地区的美观性，因此，对所安装的太阳能电池的色彩、形状以及大小有一定的要求。

1) 建材屋顶一体型太阳能电池组件

建材屋顶一体型太阳能电池组件是指在屋顶的表面将太阳能电池组件、屋顶的基础部分以及屋顶材料等组合成一体所构成的屋顶层。建材屋顶一体型太阳能电池组件按太阳能电池在建筑物上的安装方式，可以分成可拆卸式、屋顶面板式以及隔热式等。

(1) 瓦一体型太阳能电池组件

如图 4.8 所示为太阳能电池瓦的外观，它由曲面形状玻璃瓦与非晶硅太阳能电池构成，出力约 3W。由于非晶硅太阳能电池的厚度非常薄，因此与以前的瓦相比重量基本相同，但瓦的强度却高三倍。由于非晶硅太阳能电池采用气体反应的方法形成，所以可以像曲面形状的玻璃瓦一样直接形成曲面。图 4.9 为瓦一体型非晶硅太阳能电池组件。

如图 4.10 所示为瓦一体型太阳能电池组件的外观，其特点是无框架设置施工，组件采用了不易燃烧的材料，可以代替以前的瓦使用。

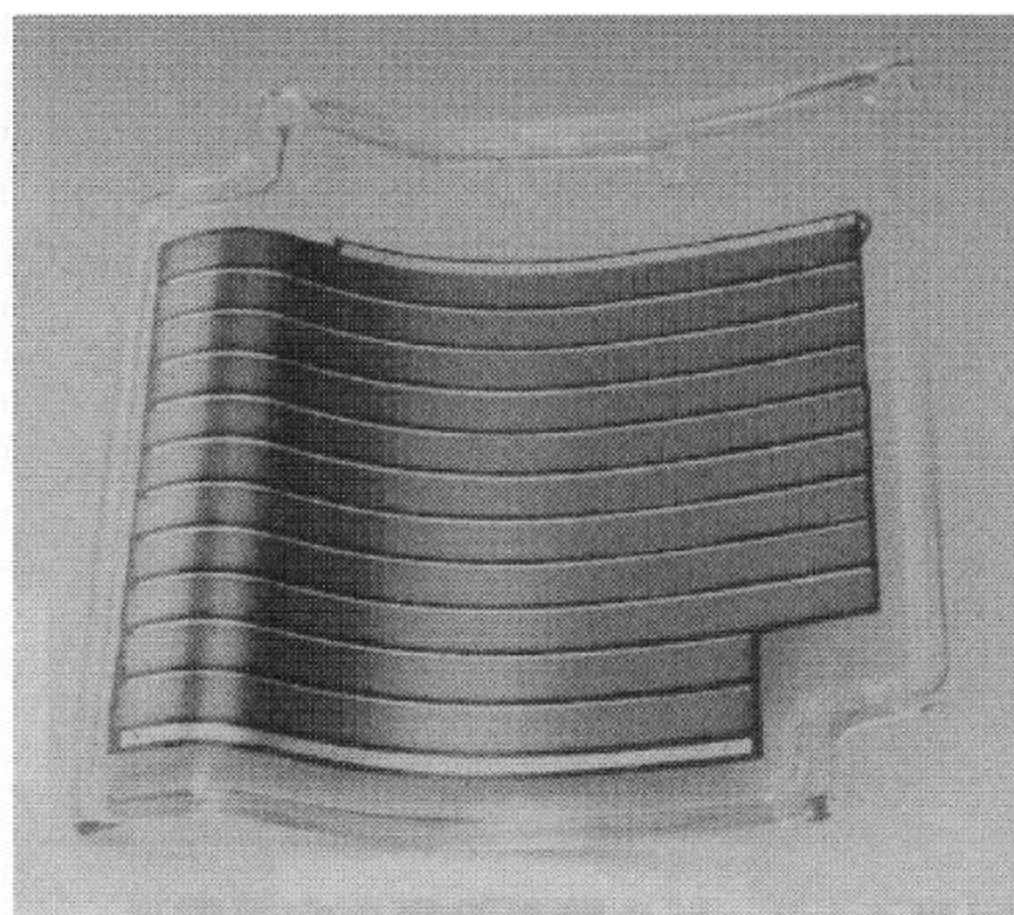


图 4.8 太阳能电池瓦的外观

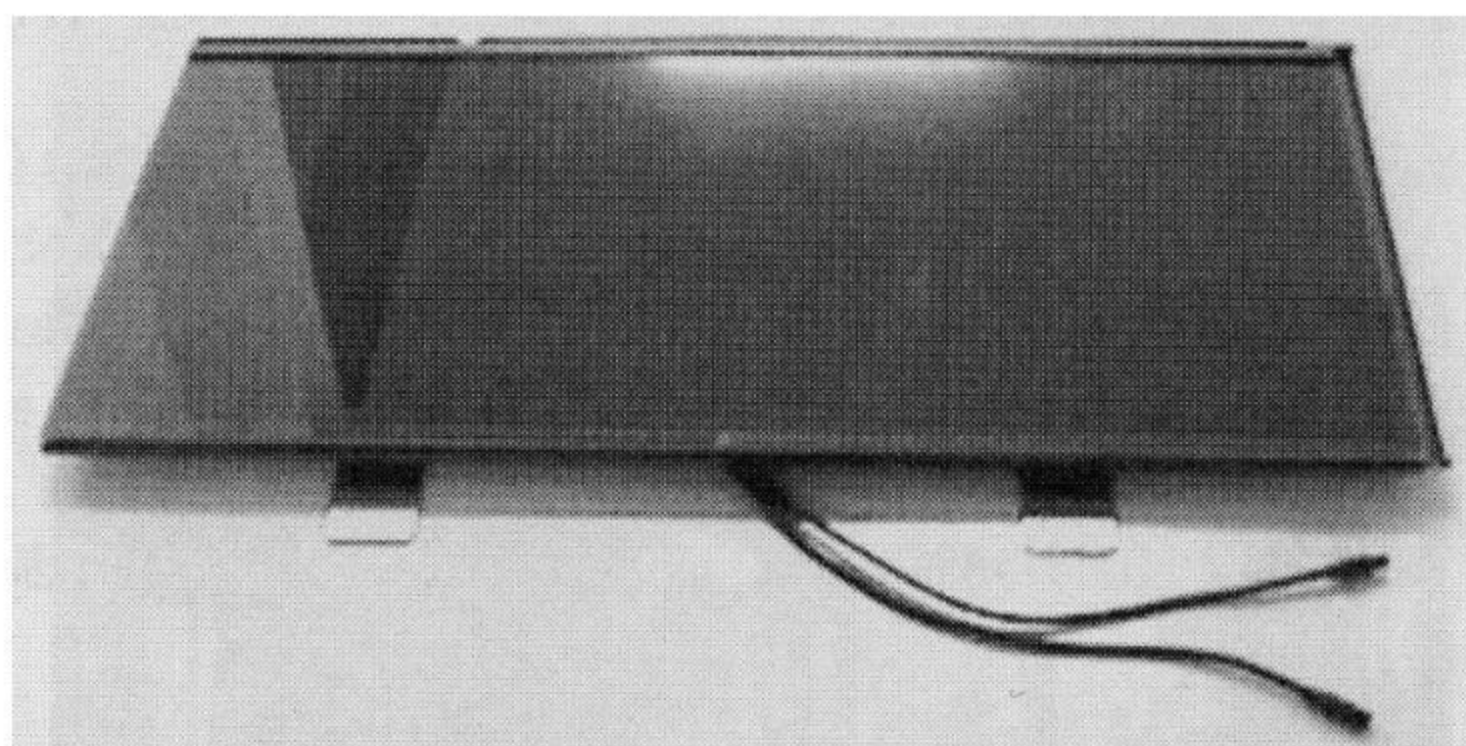


图 4.9 瓦一体型非晶硅太阳能电池组件

(2) 可拆卸式建材屋顶一体型太阳能电池组件

图 4.11 为可拆卸式建材屋顶一体型太阳能电池组件,它是在一块平板瓦上制成的。背面为金属结构,可以比较容易地更换各组件,其特征是组件更换容易、具有耐火特性等。

(3) 屋顶面板式建材屋顶一体型太阳能电池组件

图 4.12 为屋顶面板式建材屋顶一体型太阳能电池组件。太阳能电池瓦与屋顶构件组合,在工厂组装成板式结构。这种组建安装简便,重量轻,成本低,管理方便。



图 4.10 瓦一体型太阳电池组件的外观



图 4.11 可拆卸式建材屋顶一体型太阳电池组件

(4) 隔热式建材屋顶一体型太阳电池组件

图 4.13 为隔热式建材屋顶一体型太阳电池组件。它用大型非晶硅 (a-Si) 太阳电池、屋顶构件、隔热材料等组合成玻璃板,不但可以提高施工性,而且可以使温度上升以恢复非晶硅太阳电池的初期特性。太阳电池瓦与屋顶构件在工厂组装,现场安装简便,质量管理方便。



4.12 屋顶面板式建材屋顶一体型太阳能电池组件

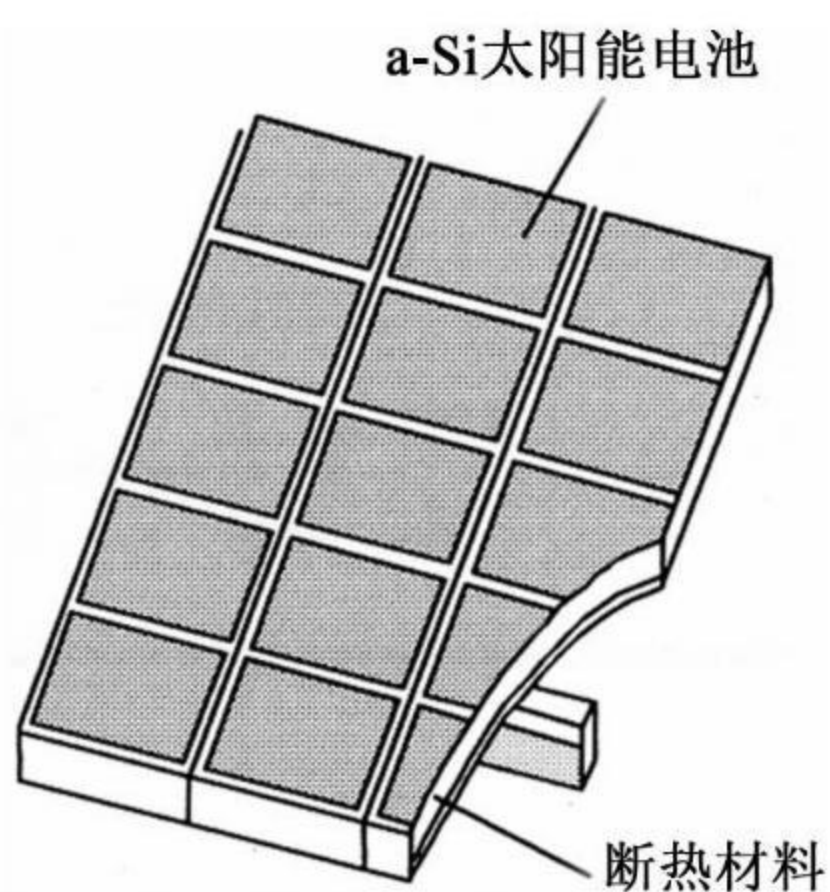


图 4.13 隔热式建材屋顶一体型太阳能电池组件

(5) 使用 HIT 太阳能电池的建材屋顶一体型太阳能电池组件

图 4.14 为由使用混合型太阳能电池构成的建材屋顶一体型太阳能电池组件,其特点如下:

- 1) 太阳能电池设置的部分可以省去屋顶瓦,因此可降低成本,可以与瓦同时设置,与以前的框架设置方法相比可节约 50% 的工时;
- 2) 可省去太阳能电池下面铺设的屋顶材料,可减轻屋顶的重量;
- 3) 与平板瓦一样可以最大限度地利用屋顶的面积,外观也很

美观。

另外,由于混合型太阳电池的转换效率较高,因此同样的设置面积可以得到较大的发电出力。除此之外,由于这种电池具有较好的温度特性,可以抑制夏季高温时太阳电池的出力下降。

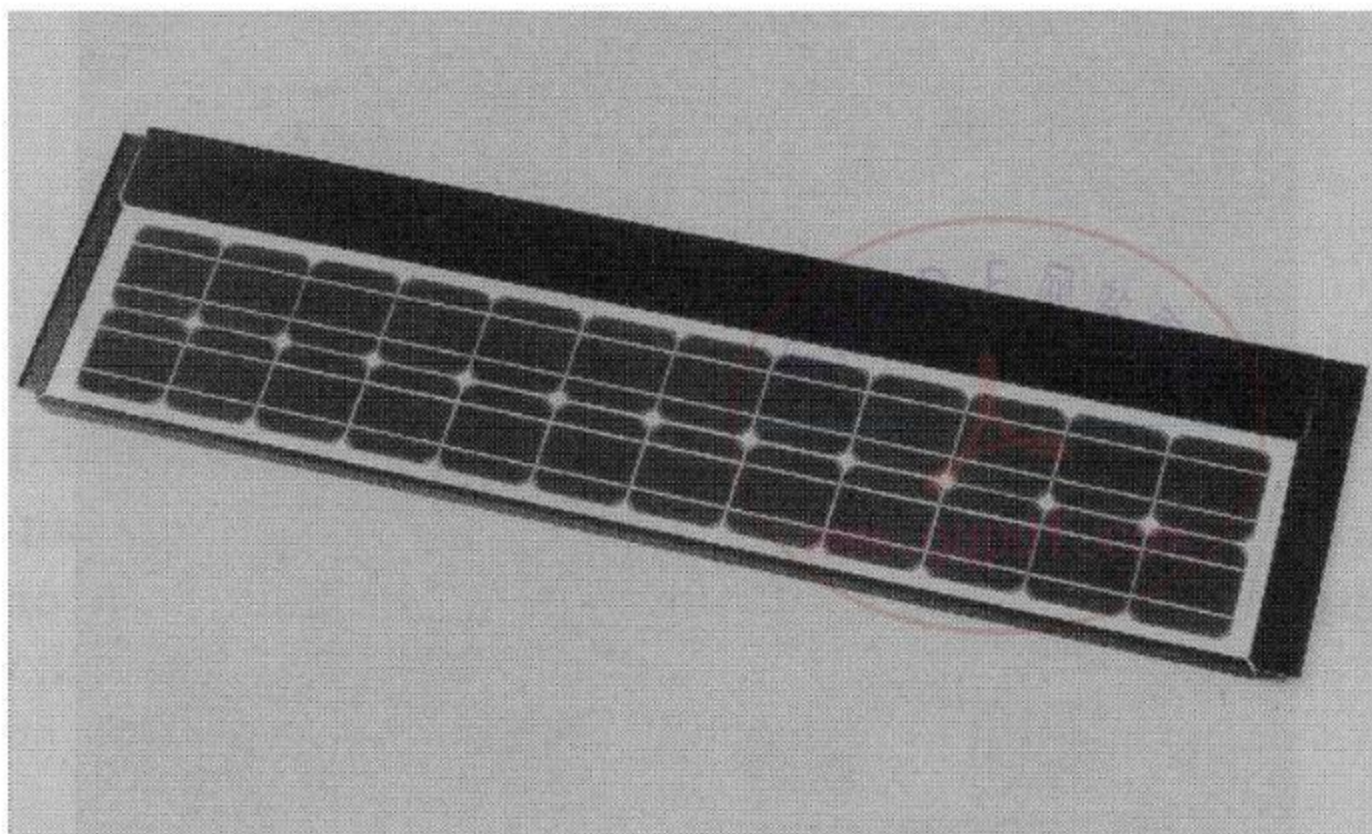


图 4.14 混合型太阳电池构成的建材一体型太阳电池组件

2) 建材墙壁一体型太阳电池组件

建材墙壁一体型太阳电池组件适用于高层建筑物。作为壁材、窗材使用建材墙壁一体型太阳电池组件可分为:玻璃壁式建材墙壁一体型太阳电池组件、金属壁式建材墙壁一体型太阳电池组件等。

(1) 玻璃壁式建材墙壁一体型太阳电池组件

如图 4.15 所示的玻璃壁式建材墙壁一体型太阳电池组件是将玻璃与太阳电池组合而成,即由表面玻璃、太阳电池单元以及背面材料构成。用来代替建筑物的玻璃,构成各种各样的彩色壁面,以满足不同用户的需要。

(2) 金属壁式建材墙壁一体型太阳电池组件

图 4.16 为金属壁式建材墙壁一体型太阳电池组件,它将太阳电池装在铝材上构成太阳电池组件,太阳电池组件背面的铝制散热片用来散热,以提高太阳电池的转换效率。另外,可以方便地调整组件的倾角以及各组件间的间隙,以增加发电量。

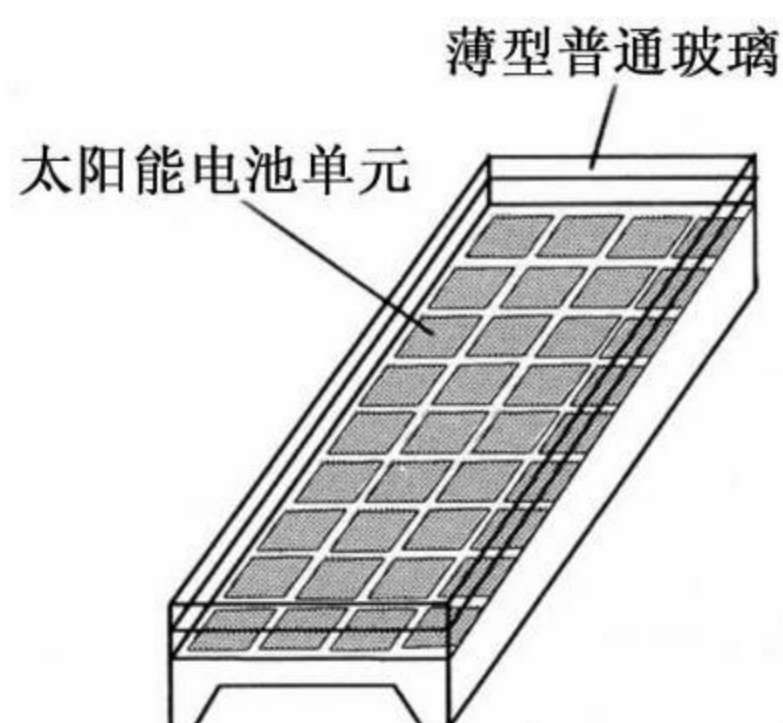


图 4.15 玻璃壁式建材墙壁一体型太阳能电池组件

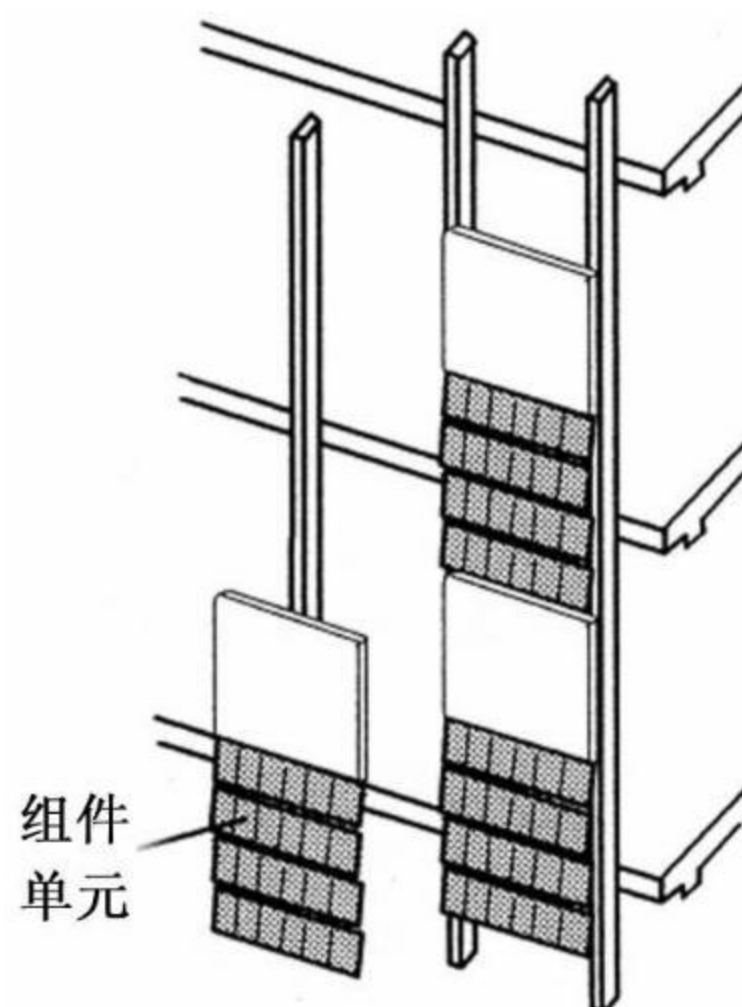


图 4.16 金属壁式建材墙壁一体型太阳能电池组件

3) 柔性式建材一体型太阳能电池组件

图 4.17 为柔性式建材一体型太阳能电池组件。这种太阳能电池组件可以满足各种不同的用途。将非晶硅太阳能电池做成胶片状,并有多尺寸规格,施工时可以根据屋顶的形态选择太阳能电池的大小。

今后,随着建材一体型技术、大面积化技术以及施工方法的研究、开发,建材一体型太阳能电池组件将会在太阳能发电方面得到越来越

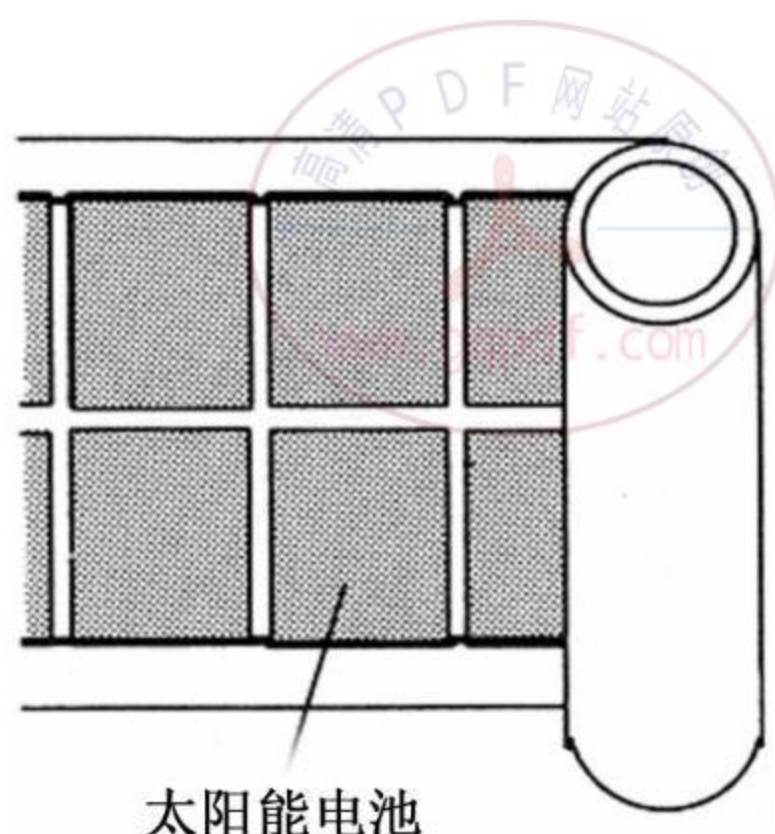


图 4.17 柔性式建材一体型太阳电池组件

越广泛的应用。

4.3.3 采光型太阳电池组件

从环境保护的观点看,太阳能发电必须要从政府机关大楼、学校等公共设施向企业、民间设施普及。采光型太阳电池组件是为了适应企业的办公楼、工厂、公共设施等大楼的玻璃窗帘等美观的需要而设计的。因此,采光型太阳电池组件可以用于企业的办公楼、工厂、公共设施等大楼,既可以发电供大楼使用,又可以使其与环境协调、美观。

采光型太阳电池组件按所使用的太阳电池的种类可分成多种形式,这里主要介绍 4 种,即由结晶系太阳电池构成的组合玻璃、复合玻璃采光型太阳电池组件、由薄膜系太阳电池构成的组合玻璃、复合玻璃透光型太阳电池组件。图 4.18 为结晶系太阳电池构成的组合玻璃采光型太阳电池组件。图 4.19 为结晶系太阳电池构成的复合玻璃采光型太阳电池组件。图 4.20 为薄膜系太阳电池构成的组合玻璃透光型太阳电池组件。图 4.21 为薄膜系太阳电池构成的复合玻璃透光型太阳电池组件。

1. 结晶系组合玻璃采光型太阳电池组件

图 4.18 为结晶系组合玻璃采光型太阳电池组件。这种采光型

太阳电池组件是将结晶系太阳电池单元夹在玻璃之间构成的。可以制成大型的太阳电池组件,系统设计时有较大的灵活性,可用于大楼的壁面、窗以及房顶等处,使大楼的外观更加美观。

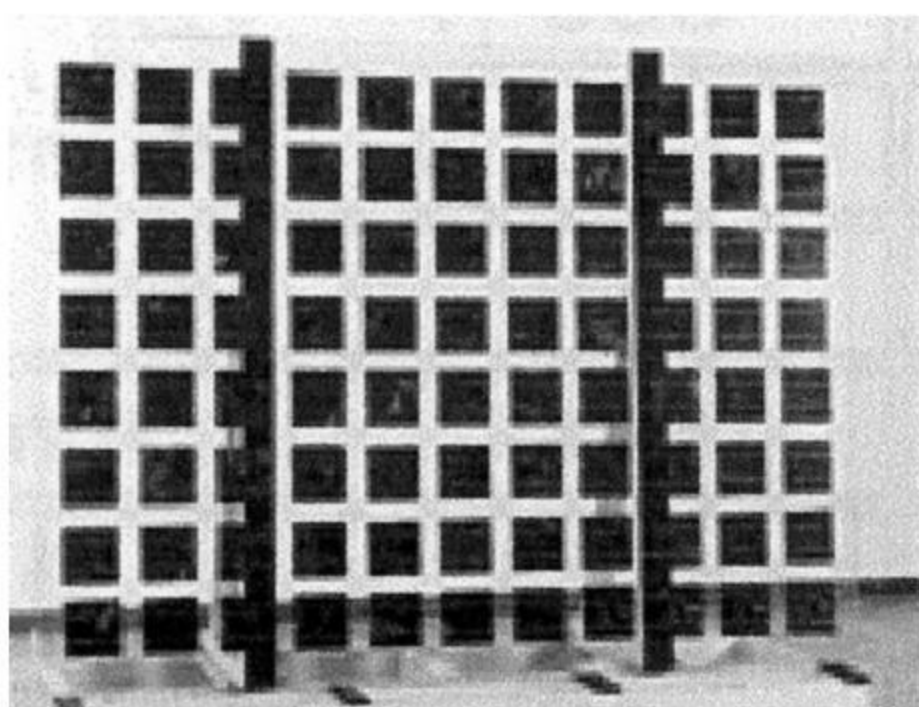


图 4.18 结晶系组合玻璃采光太阳电池组件

2. 结晶系复合玻璃采光型太阳电池组件

图 4.19 为结晶系复合玻璃采光型太阳电池组件。除了具有组合玻璃采光太阳电池组件的特长外,由于这种采光太阳电池组件是与带有网丝的玻璃复合而成,因此它还具有较好的防火、隔热性能。适用于大楼的窗玻璃、天窗等。

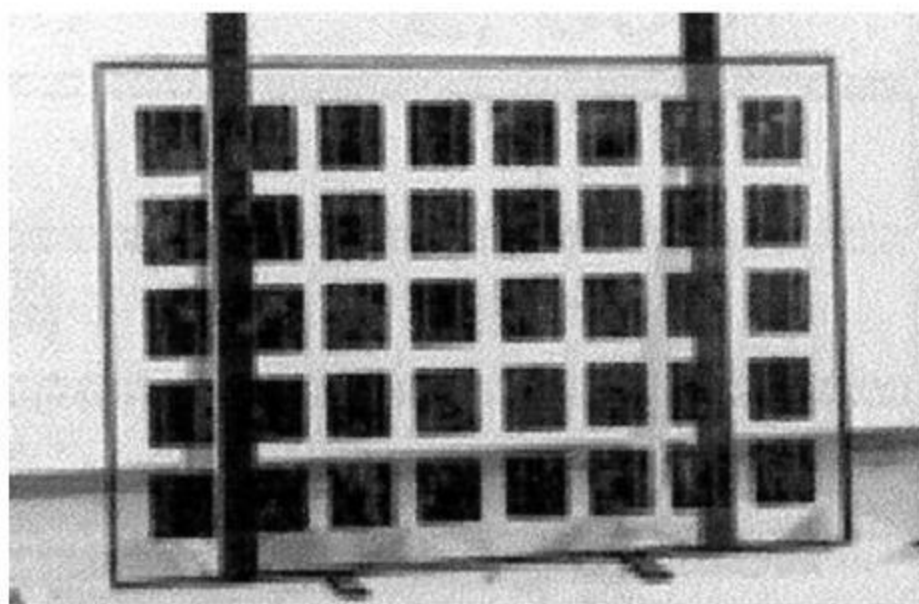


图 4.19 结晶系复合玻璃采光型太阳电池组件

3. 薄膜系组合玻璃透光型太阳电池组件

如图 4.20 所示,薄膜系组合玻璃透光型太阳电池组件是将薄膜

透明太阳能电池夹在两块玻璃之间构成。它可以作为窗玻璃使用,使房间适度采光。

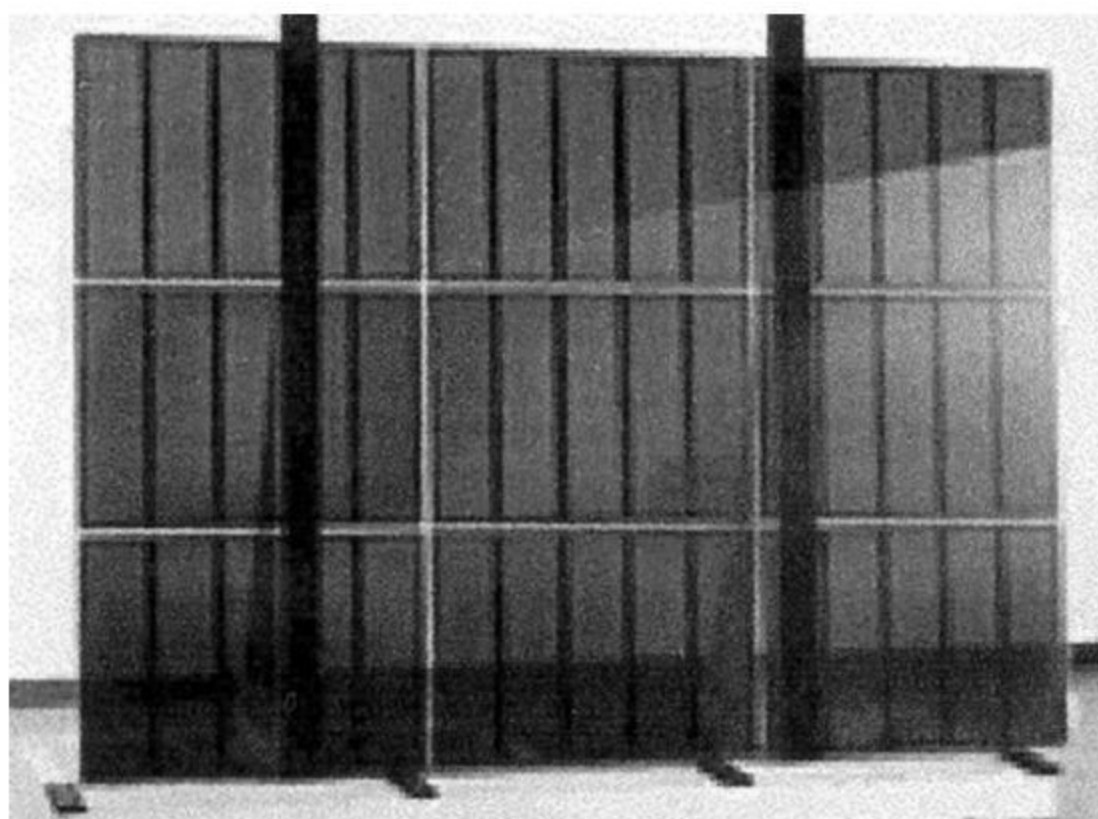


图 4.20 薄膜系组合玻璃透光型太阳能电池组件

4. 薄膜系复合玻璃透光型太阳能电池组件

薄膜系复合玻璃透光型太阳能电池组件如图 4.21 所示。它除了具有组合玻璃采光型太阳能电池组件的特长之外,还是一种防火性能较好的薄膜透光型太阳能电池组件。

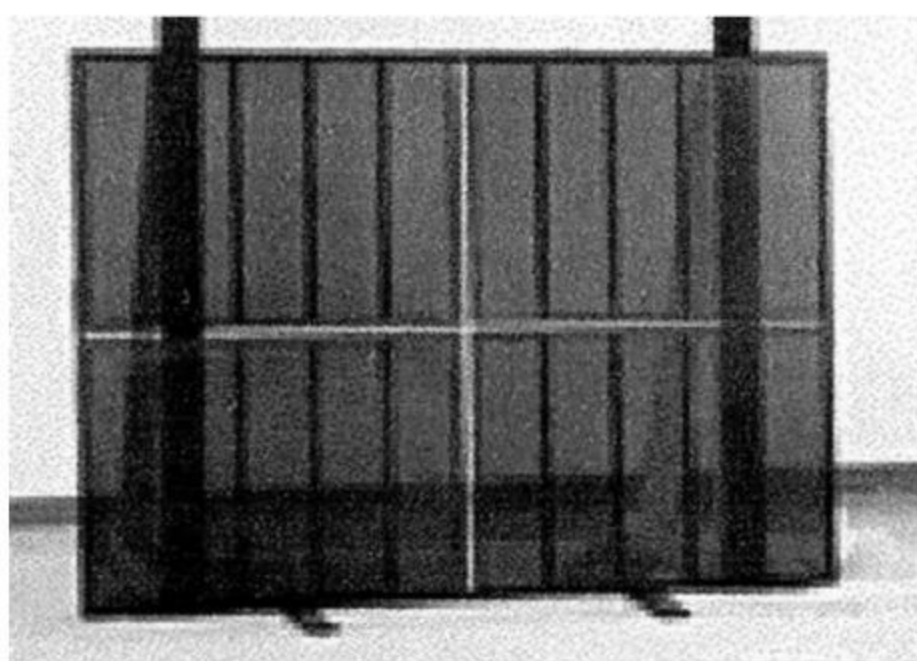


图 4.21 薄膜系复合玻璃透光型太阳能电池组件

4.3.4 新型太阳电池组件

新型太阳电池组件有许多种类,这里主要介绍交流出力太阳电池组件、蓄电功能内藏的太阳电池组件、带有融雪功能的太阳电池组件以及两面发电型 HIT 太阳电池组件等。

1. 交流出力太阳电池组件(AC 太阳电池组件)

通常,太阳能光伏系统中的太阳电池阵列的直流输出与逆变器(出力数 kW)相连,并通过此逆变器将直流变成交流。但近年来出现了 AC 太阳电池组件或者 MIC (Module Integrated Converter) 组件。AC 太阳电池组件如图 4.22 所示,每个组件的背面装有一个小型的逆变器,如图 4.23 所示。由于 AC 太阳电池组件的输出为交流电,因此,通过串、并联连接可以方便地得到所需的交流出力。可比较简单地构成太阳能光伏系统,一般将 AC 太阳电池组件的出力进行适当组合,直接用于一般家庭。目前,可直接与电力系统并网的产品也已进入实用阶段。

AC 太阳电池组件具有以下特点:

- 1) 可以组件为单位增设容量,容易扩大系统的规模;
- 2) 可以组件为单位进行 MPPT 控制,减少组件因阳光的部分阴影以及多方位设置而出现的损失;
- 3) 由于省去了直流配线,可减少因电气腐蚀而出现的故障;
- 4) 由于可以将组件的输出切断,可提高安装时的安全性;
- 5) AC 太阳电池组件附加或内藏有小型逆变器,它的输出为交流电,因此,太阳电池组件个体可以构成发电系统,可以增加系统设计的灵活性。

逆变器的出力一般为几十 W 到 100W,与通常的逆变器相比,转换效率略低,但大量使用时可降低成本。另外,许多逆变器相连时会出现相互干扰的问题,存在与以前的系统不同的问题。在解决与以前系统的不同问题的过程中,AC 太阳电池组件将会得到更大的发展。欧洲国家先行一步进行了大量的研究开发,AC 太阳电池组件已进入商品化的阶段。

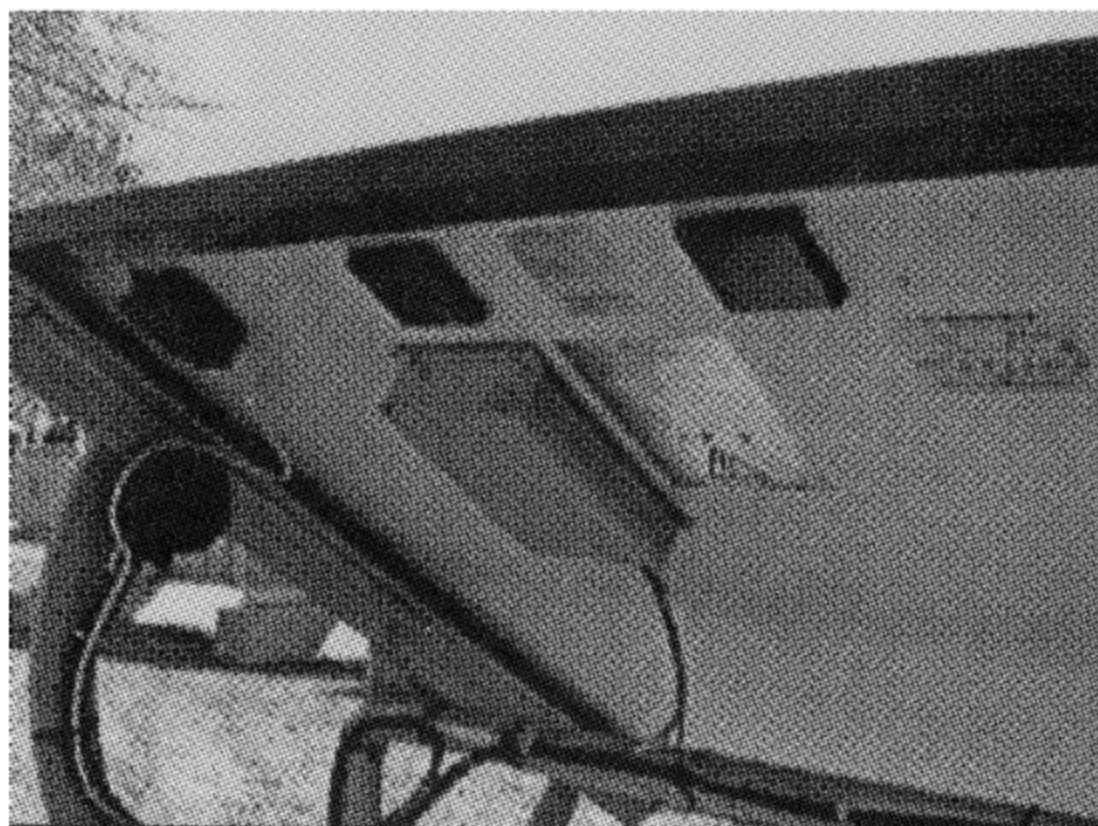


图 4.22 AC 太阳电池组件

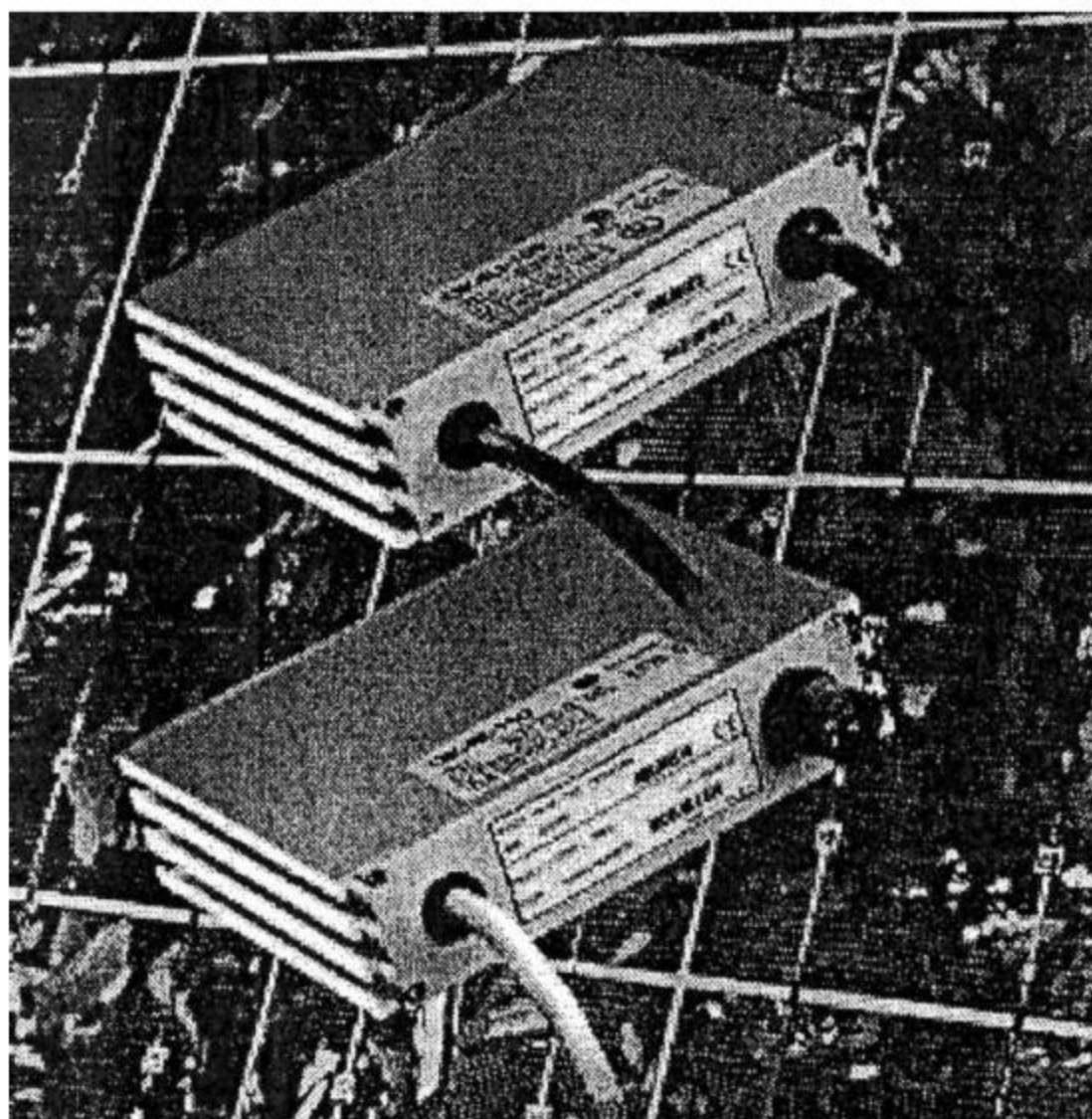


图 4.23 AC 太阳电池组件用小型逆变器

2. 蓄电功能内藏的太阳电池组件

太阳电池的电力可以向蓄电池或充电器充电,错开太阳电池的发电高峰,可以期待在削减电力系统用电高峰(负荷平均化)、无停电电源系统以及灾害时的紧急用电源等方面得到应用。

3. 带有融雪功能的太阳电池组件

积雪往往会影响太阳能电池的出力。太阳能电池组件积雪时可利用系统的深夜电力,通过逆变器使太阳能电池组件通电,用太阳能电池所产生的热量使太阳能电池上的积雪溶化,使太阳能电池恢复正常发电。

4. 两面发电型 HIT 太阳能电池组件的结构

图 4.24 为两面发电型 HIT 太阳能电池组件的结构,它由强化玻璃、HIT 太阳能电池、封装剂以及透明保护材料等构成。它可以利用表面入射光以及背面入射光发电,使发电量增加。图 4.25 为两面发电型 HIT 太阳能电池组件的设置状况。

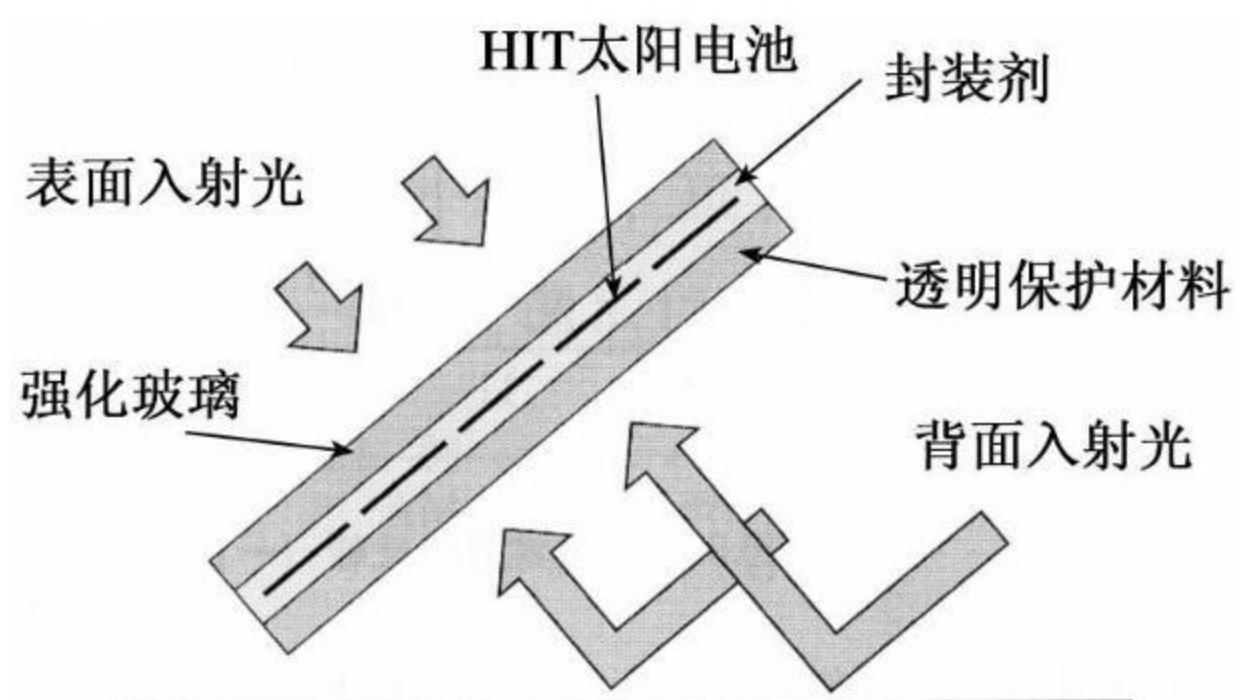


图 4.24 两面发电型 HIT 太阳能电池组件

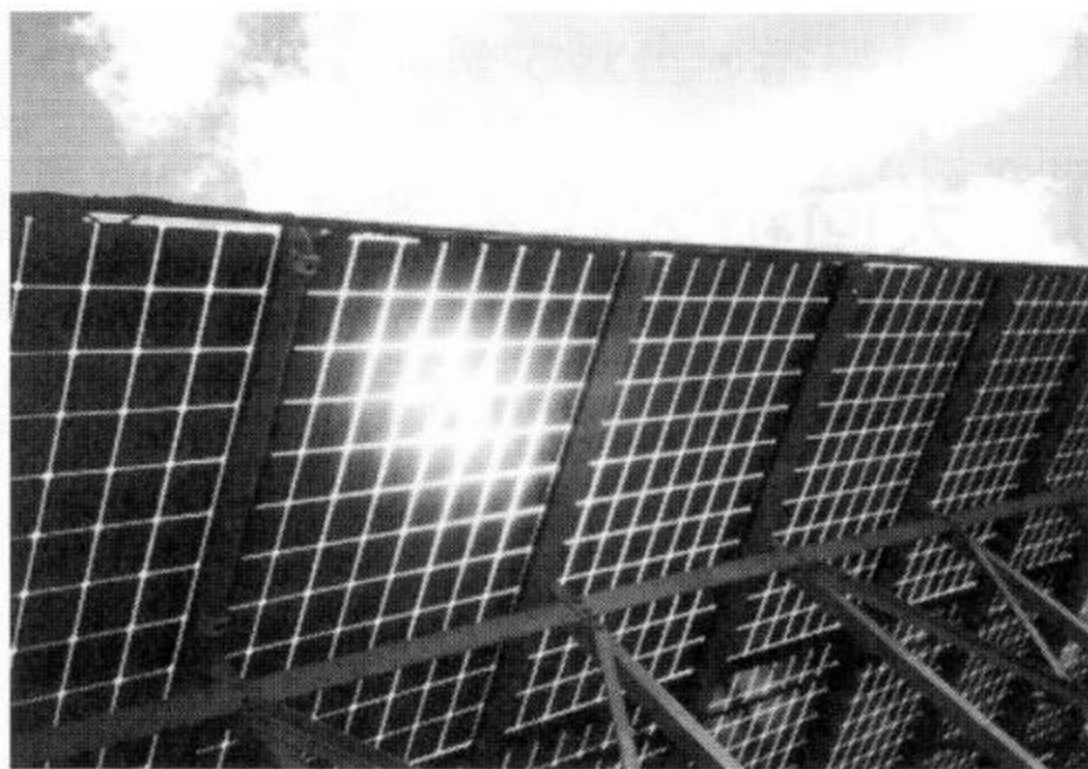


图 4.25 两面发电型 HIT 太阳能电池组件

4.4 建材一体型太阳电池组件的应用

建材一体型太阳电池组件主要用于住宅、公共设施等领域。下面主要介绍建材一体太阳电池组件在住宅太阳能光伏系统以及在公共设施上的应用。

4.4.1 太阳能光伏系统在住宅方面的应用

1. 采用直接安装法的屋顶一体型太阳电池组件系统

直接安装法是将与屋顶成一体的太阳电池组件与屋顶材料直接安装在一起,如图 4.26 所示,它具有如下特点:

- 1) 由于太阳电池组件与屋顶材料直接安装,可以对符合屋顶形状的组件进行自由布置;
- 2) 由于采用了独特的光反射抑制技术,可使多晶硅太阳电池单元的转换效率达到 15.3% 以上;
- 3) 可使房子的外观协调、美观。



图 4.26 采用直接安装法的屋顶一体型太阳能发电系统

2. 使用无框架太阳电池的屋顶一体型太阳电池组件系统

图 4.27 所示为无框架太阳电池的屋顶一体型太阳电池组件系统,其特点是:

- 1) 由于省去了太阳电池的铝框,可降低成本;
- 2) 不需要屋顶固定金属件,由于使用了防水罩,可使屋顶材料成为一体;
- 3) 外形美观。



图 4.27 使用无框架太阳电池的屋顶一体型太阳电池组件系统

3. 使用 HIT 太阳电池的屋顶一体型太阳能发电系统

图 4.28 为使用 HIT 太阳电池的屋顶一体型太阳能发电系统,这种系统的太阳电池转换效率高,同样的面积可以得到更多的发电量。



图 4.28 使用 HIT 太阳电池的屋顶一体型太阳能发电系统

4.4.2 太阳能光伏系统在公共设施方面的应用

1. 平顶型太阳能光伏系统

平顶型太阳能光伏系统如图 4.29 所示,这种系统具有如下的特点:

- 1) 与以前的框架相比,由于价格较低,有利于太阳能发电系统的普及;
- 2) 由于利用了等压原理,所以可使风压载荷降低 $1/2 \sim 1/3$;
- 3) 与倾斜设置相比,平面设置时可节省大约 30% 的面积;
- 4) 可延长防水层的使用寿命,降低室内的空调负荷;
- 5) 由于组装简便、部件可集成等,使施工工期缩短。

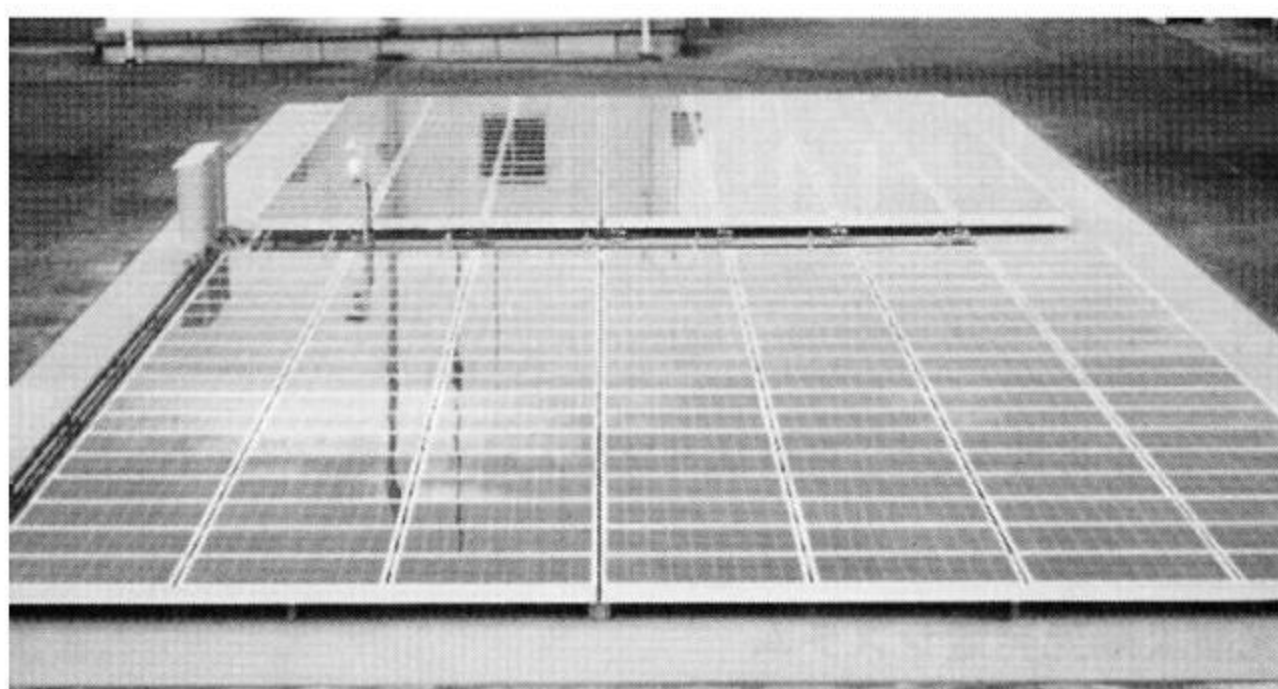


图 4.29 平顶型太阳能光伏系统

2. Screen 型太阳能光伏系统

Screen 型太阳能光伏系统如图 4.30 所示,其特点是:

- 1) 无框架、外形美观;
- 2) 可与铝棒组合构成所需的系统;
- 3) 部件系统化,使施工工期缩短。

3. 采光型太阳能光伏系统

采光型太阳能光伏系统如图 4.31 所示,其特点是:

- 1) 无框架、轻便、透明;
- 2) 可将太阳电池单元进行各种组合;



图 4.30 Screen 型太阳能光伏系统

3) 将太阳能电池单元放在玻璃之间构成组件。



图 4.31 采光型太阳能光伏系统

4. 壁面设置型太阳能光伏系统

壁面设置型太阳能光伏系统如图 4.32 所示,它具有如下的特点:

- 1) 利用等压原理可实现薄型、轻量的太阳能发电系统,适合在有风的地方使用;
- 2) 配线箱与太阳能电池组件集成为一体,使施工简便、省力;

3) 可作为建筑物外壁的一部分使用,突出外观效果。



图 4.32 壁面设置型太阳能光伏系统

第5章 太阳能光伏系统概要

太阳能光伏系统根据负载是直流还是交流,以及是否与电力系统并网等可以有多种多样的形式。根据太阳能光伏系统是否与电力系统并网可将太阳能光伏系统分成独立系统和并网系统。除此之外,还有混合系统以及小规模电源系统。本章将介绍这些系统的构成、特点及应用。

太阳能光伏系统按应用领域可分为住宅用、公共设施用以及产业设施用太阳能光伏系统等。住宅用太阳能光伏系统可以用于一家一户,也可以用于集合住宅以及由许多集合住宅构成的小区等;公共设施用太阳能光伏系统主要用于学校、机关办公楼、道路、机场设施以及其他公用设施;产业设施用太阳能光伏系统主要用于工厂、营业所、宾馆以及加油站等设施。

5.1 太阳能光伏系统的种类及用途

独立光伏系统根据负载的情况可分为专用负载系统和一般负载系统。所谓专用负载系统是指太阳电池的出力与负载一一对应的系统;而一般负载系统是指在一定范围内以不特定的负载为对象的系统。另外,根据负载是直流还是交流以及蓄电池的有无可以有如图 5.1 的若干分类。

并网系统是指太阳能光伏系统与电网相连的系统。根据太阳能光伏系统是否向电网送电可分为逆潮流系统和无逆潮流系统。另外,根据两者的电气关系可以分为切换式系统。另外,还有地域并网式太阳能光伏系统以及小规模电源系统等,如图 5.2 所示。



图 5.1 独立型太阳能光伏系统的分类及用途

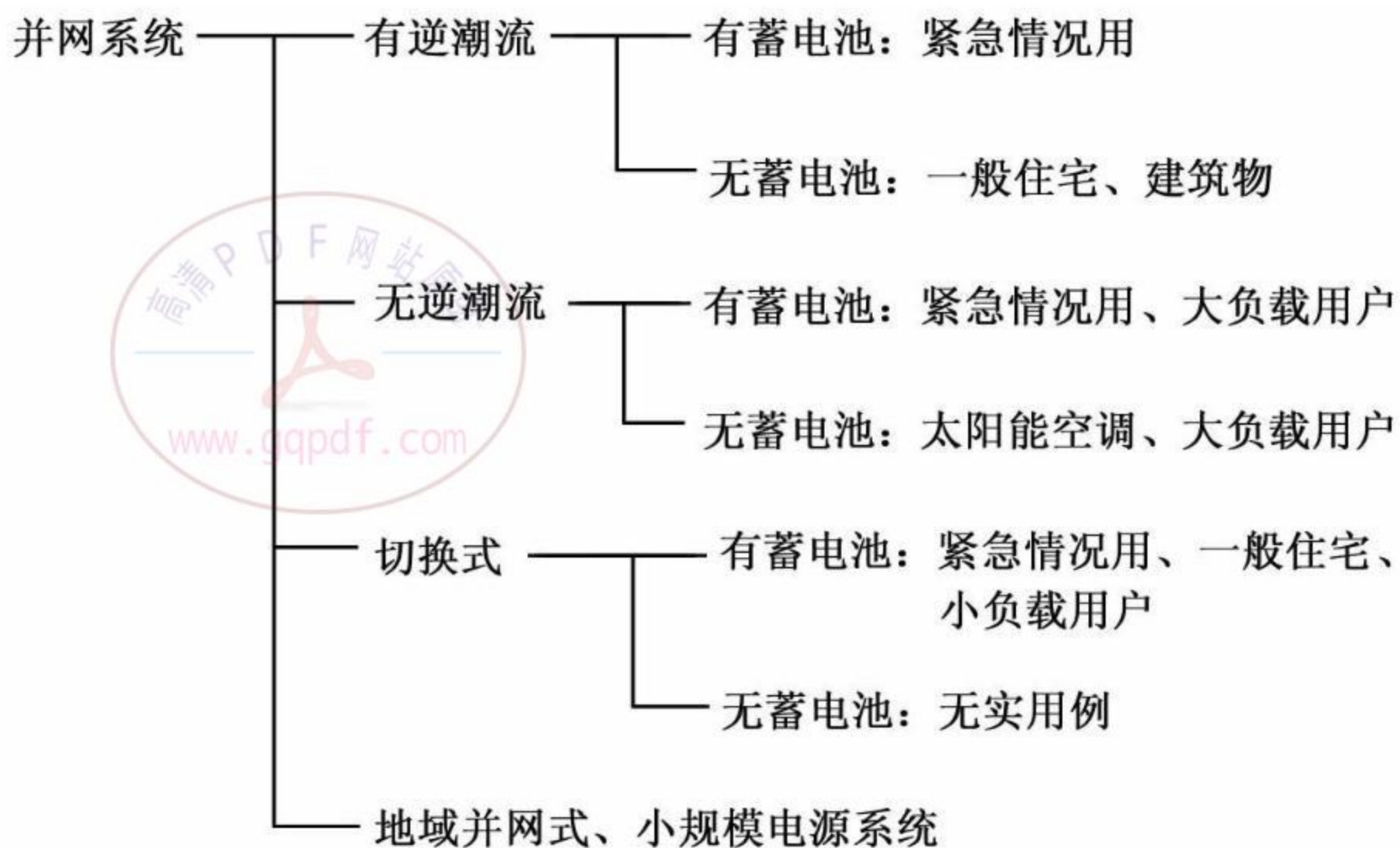


图 5.2 并网型太阳能光伏系统的分类及用途

5.2 独立系统

独立型太阳能光伏系统根据负载的种类、用途的不同,系统的构成也不同。独立系统一般由太阳电池、充放电控制器、蓄电池、逆变器以及负载(直流负载、交流负载)等构成。其工作原理是:如果负载为直流负载,太阳电池的出力可直接供给直流负载;如果为交流负载,太阳电池的出力则通过逆变器将直流变成交流后供给交流负载。蓄电池则用来储存电能,当夜间、阴雨天等太阳电池无出力或出力不足时,则由蓄电池向负载供电。

独立系统由于负载只有太阳能光伏系统供电,且太阳能光伏系统的出力受诸如日照、温度等气象条件的影响,因此当供给负载的电力不足时,这时需要使用蓄电池来解决这一问题。由于太阳电池的出力为直流,一般可直接用于直流负载。当负载为交流时,还需要使用逆变器,将直流变成交流供给交流负载。由于蓄电池在充放电时会出现损失且维护检修成本较高,因此,独立型太阳能光伏系统一般容量较小,主要应用于时钟、无线机、路标、岛屿以及山区无电地区等领域。

5.2.1 独立系统的用途

独立系统一般适用于下列情况:

1. 需要自由携带的设备,如普通、携带型设备用电源;
2. 夜间、阴雨天等不需电网供电;
3. 远离电网的边远地区;
4. 不需要并网;
5. 不采用电气配线施工;
6. 不需要备用电源。

一般来说,远离送、配电线而又必需电力的地方以及如柴油发电需要运输燃料、发电成本较高的情况下使用独立系统比较经济。可优先考虑使用独立系统。

5.2.2 独立系统的构成及种类

独立型太阳能光伏系统根据负载的种类,即是直流负载还是交流负载,是否使用蓄电池以及是否使用逆变器可分为以下几种:直流负载直结型、直流负载蓄电池使用型、交流负载蓄电池使用型、直、交流负载蓄电池使用型等系统。下面分别介绍这些系统的构成和用途。

1. 直流负载直结型系统

直流负载直结型系统如图 5.3 所示,太阳电池与负载(如换气扇、抽水机)直接连接。由于该系统是一种不带蓄电池的独立系统,它可以在日照不足时、太阳能光伏系统不工作时也无关紧要的情况下使用。例如灌溉系统、水泵系统等。

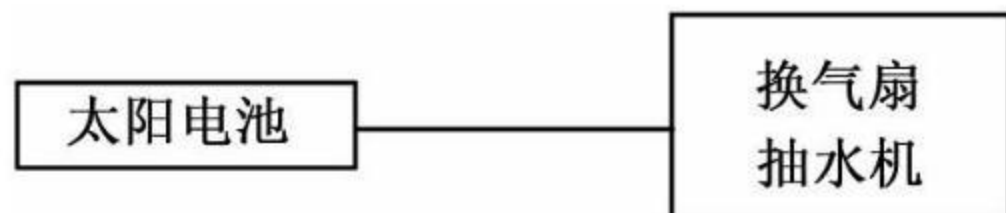


图 5.3 直流负载直结型系统

2. 直流负载蓄电池使用型系统

直流负载蓄电池使用型系统如图 5.4 所示,由太阳电池、蓄电池、充放电控制器以及直流负载等构成。蓄电池用来存储电能以供负载使用。白天,太阳能光伏系统所产生的电能供负载使用,有剩余电能时则存入蓄电池;夜间、阴雨天时,则由蓄电池向负载供电。这种系统一般用在夜间照明(如庭园照明等)、交通指示用电源、边远地区设置的微波中转站等通讯设备备用电源、远离电网的农村用电源等场合。目前这种系统比较常用。

3. 交流负载蓄电池使用型系统

图 5.5 为交流负载蓄电池使用型系统,该系统由太阳电池、交流负载、逆变器、蓄电池以及充放电控制器等构成。该系统主要用于家庭电器设备,如电视机、电冰箱等。由于这些设备为交流设备,而太



图 5.4 直流负载蓄电池使用型系统

阳电池的出力为直流，因此必须使用逆变器将直流电转换成交流电。当然，根据不同的系统，也可不使用蓄电池，而只在白天为负载提供电能。

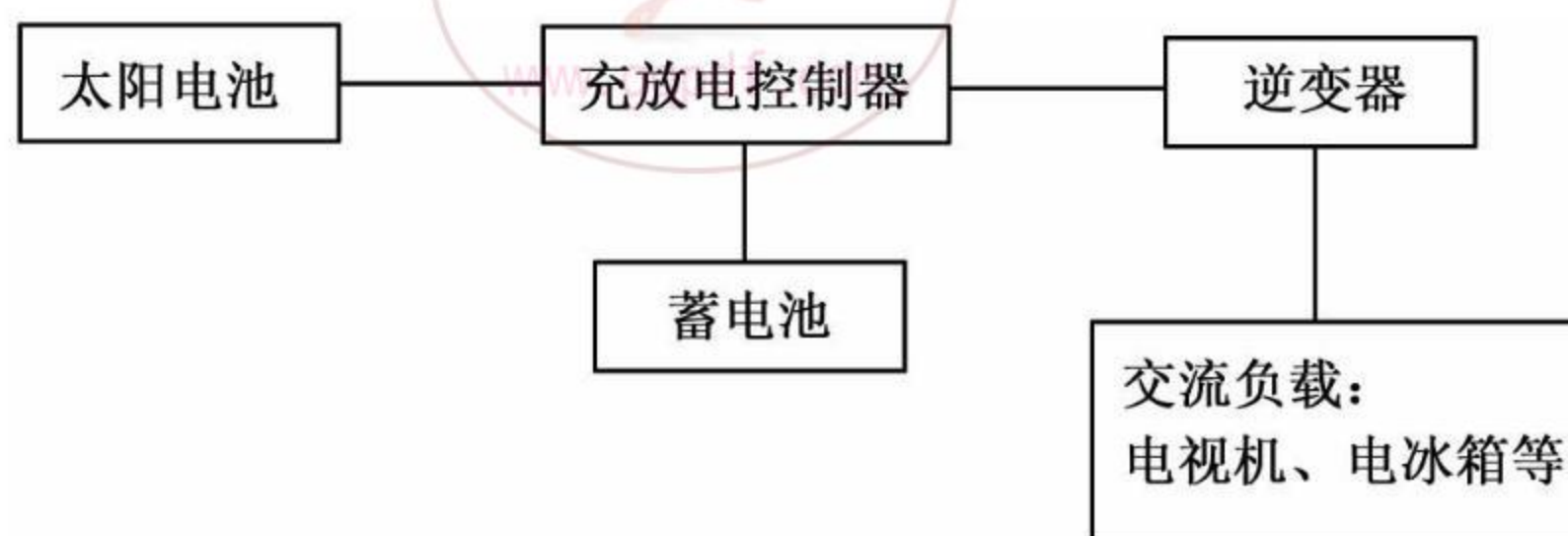


图 5.5 交流负载蓄电池使用型系统

4. 直、交流负载蓄电池使用型系统

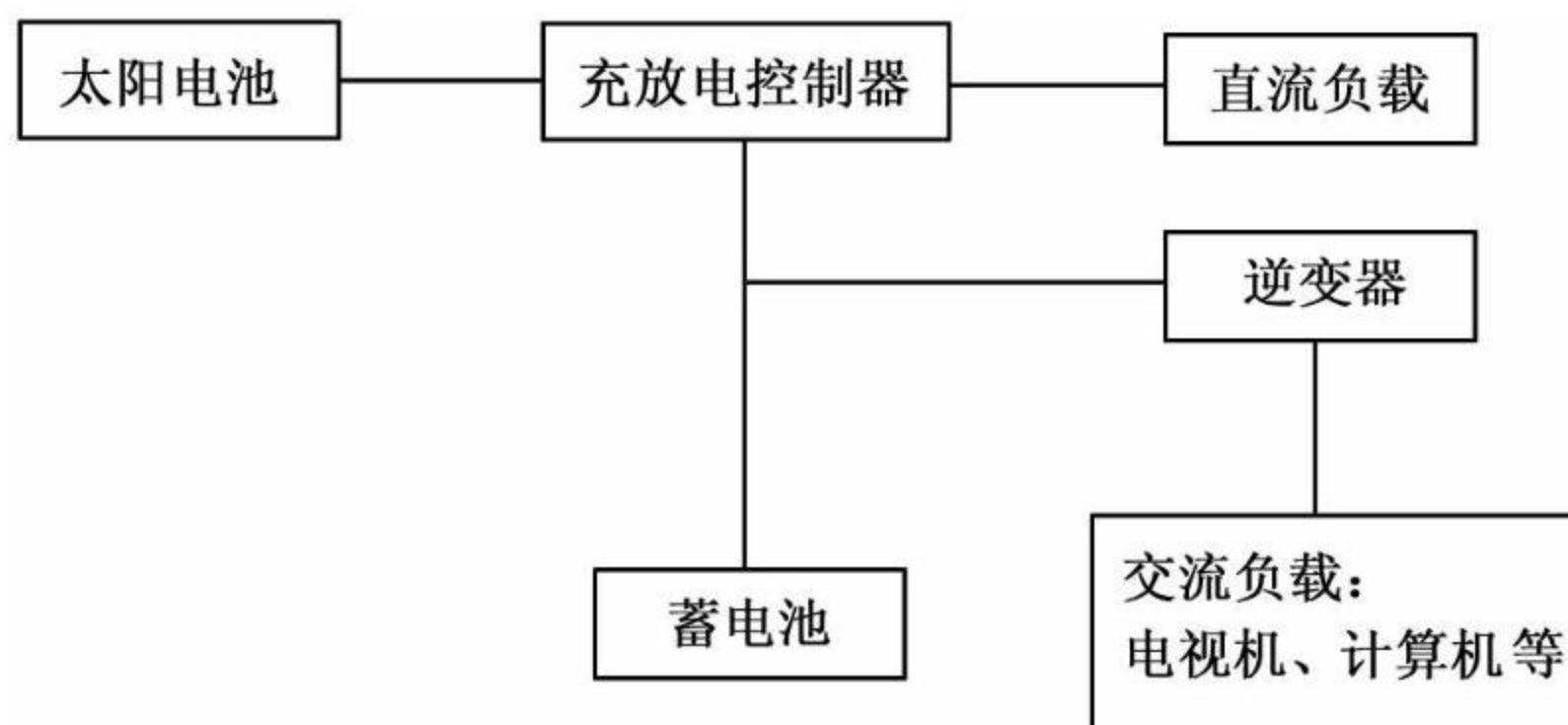


图 5.6 直、交流负载蓄电池使用型系统

图 5.6 为直、交流负载蓄电池使用型系统,该系统由太阳电池、直流负载、交流负载、逆变器、蓄电池以及充放电控制器等构成。该系统可同时为直流设备以及交流电器设备,如电视机、计算机等提供电能。

由于该系统为直流、交流负载混合系统,除了要供电给直流设备之外,还要为交流设备供电。因此,同样要使用逆变器将直流电转换成交流电。

5.3 并网系统

并网系统就是将太阳能光伏系统与电力系统并网的系统,它可分为有逆潮流并网系统、无逆潮流并网系统、自立运行切换型系统、直、交流并网型系统、地域并网型系统以及小规模电源系统等。

5.3.1 有逆潮流并网系统

有逆潮流并网系统如图 5.7 所示,太阳电池的出力供给负载后,

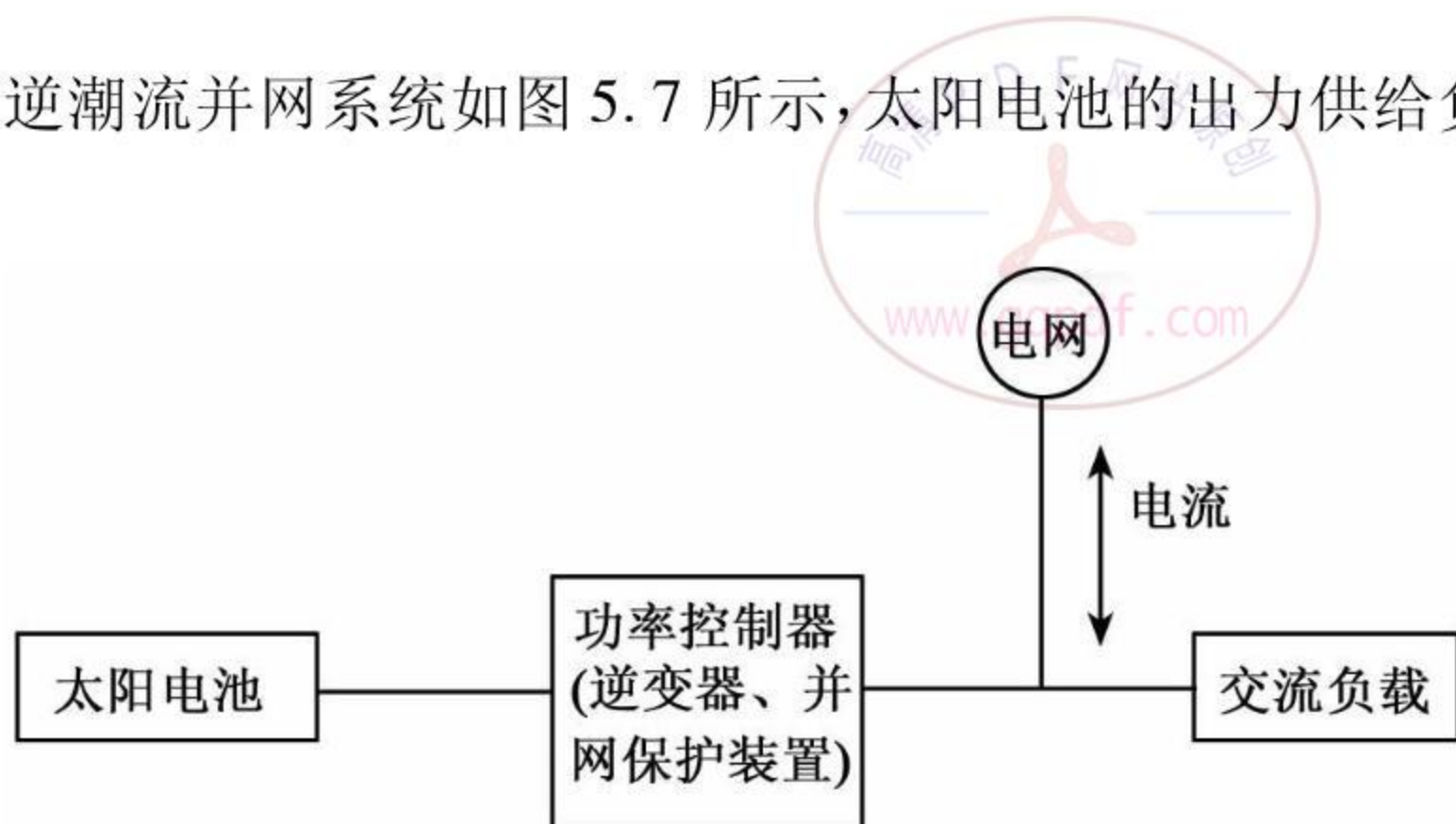


图 5.7 有逆潮流并网系统

若有剩余电能且剩余电能流向电网的系统,我们称之为有逆潮流并网系统。对于有逆潮流并网系统来说,由于太阳电池产生的剩余电能可以供给其他的负载使用,因此可以发挥太阳电池的发电能力,使电能得到充分利用。当太阳电池的出力不能满足负载的需要时,则

从电力系统得到电能。这种系统可用于家庭的电源、工业用电源等场合。

5.3.2 无逆潮流并网系统

无逆潮流并网系统如图 5.8 所示,太阳电池的出力供给负载,即使有剩余电能,但剩余电能并不流向电网,此系统称为无逆潮流并网系统。当太阳电池的出力不能满足负载的需要时,则从电力系统得到电能。

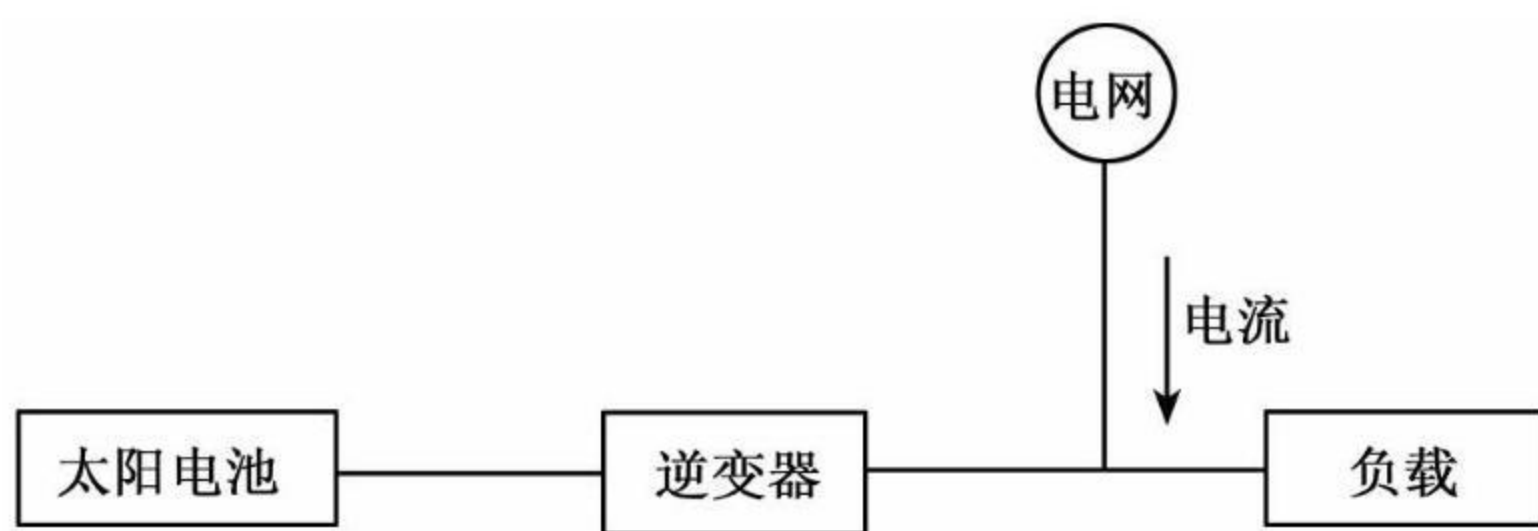


图 5.8 无逆潮流的并网系统

并网式系统的最大优点是:可省去蓄电池。这不仅可节省投资,使太阳能光伏系统的成本大大降低,有利于太阳能光伏系统的普及,而且可省去蓄电池的维护、检修等费用,所以该系统是一种十分经济的系统。目前,这种不带蓄电池、有逆潮流的并网式屋顶太阳能光伏系统正得到越来越广泛的应用。

5.3.3 切换式并网系统

切换式并网系统如图 5.9 所示,该系统主要由太阳电池、蓄电池、逆变器、切换器以及负载等构成。正常情况下,太阳能光伏系统与电网分离,直接向负载供电。而当日照不足或连续雨天,太阳能光伏系统的出力不足时,切换器自动切向电网一边,由电网向负载供电。这种系统在设计蓄电池的容量时可选择较小容量的蓄电池,以节省投资。

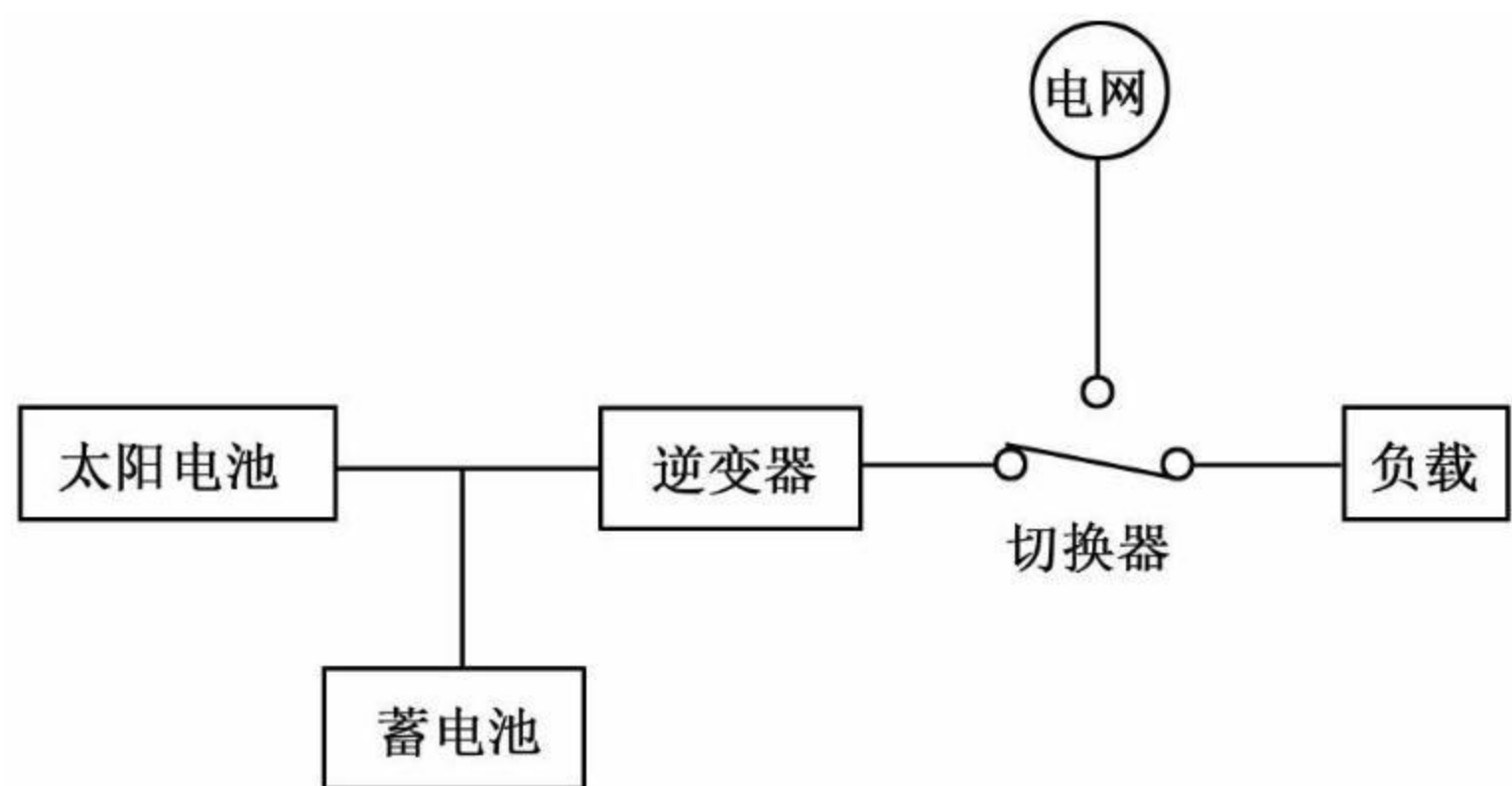


图 5.9 切换式并网系统

5.3.4 自立运行切换型太阳能光伏系统(防灾型)

自立运行切换型太阳能光伏系统一般用于灾害、救灾等情况。图 5.10 为自立运行切换型(防灾型)太阳能光伏系统。通常,该系统通过系统并网保护装置与电力系统连接,太阳能光伏系统所产生

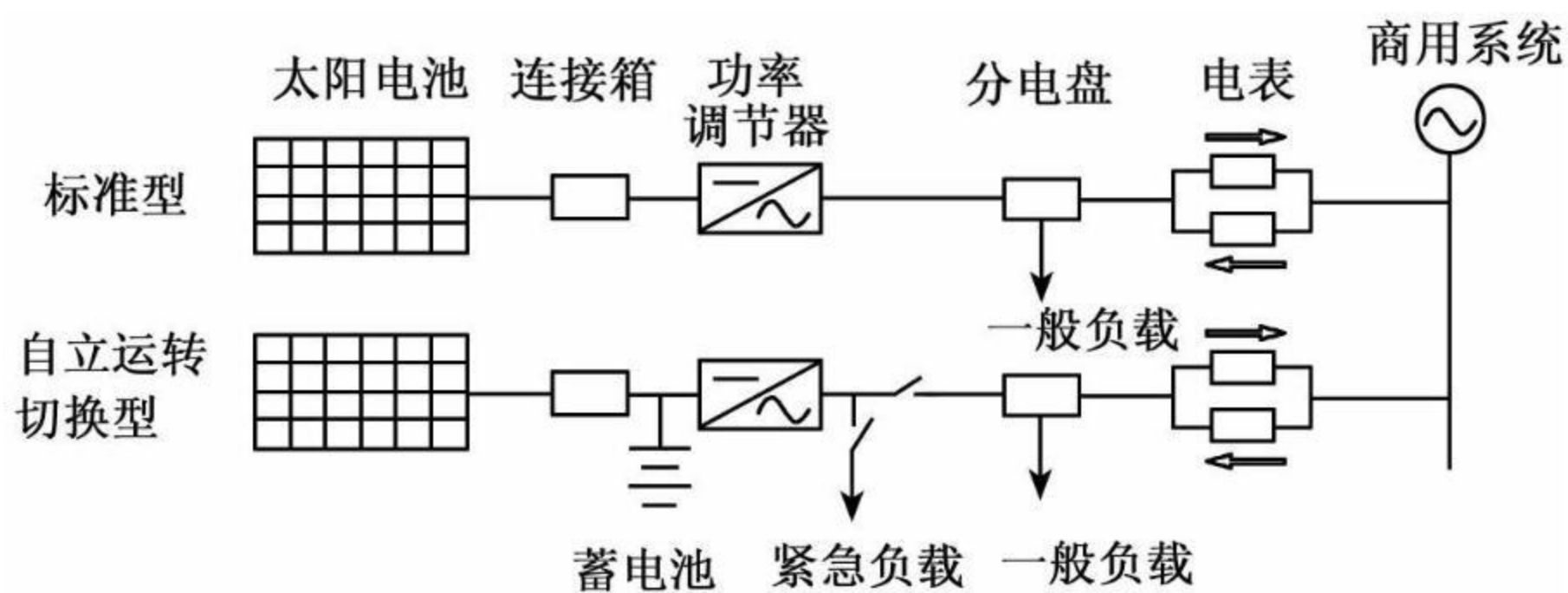


图 5.10 自立运行切换型太阳能光伏系统

的电能供给负荷。当灾害发生时,系统并网保护装置动作使太阳能光伏系统与电力系统分离。带有蓄电池的自立运行切换型太阳能光伏系统可作为紧急通讯电源、避难所、医疗设备、加油站、道路指示、

避难场所指示以及照明等的电源,当灾害发生时向灾区的紧急负荷供电。

5.3.5 直、交流并网型太阳能光伏系统

图 5.11 (a) 所示为直流并网型太阳能光伏系统。由于情报通信电源为直流电源,因此,太阳能光伏系统所产生的直流电可以直接供给情报通讯设备使用。为了提高供电的可靠性和自立性,太阳能光伏系统也可同时与商用电力系统并用。图 5.11 (b) 为交流并网型太阳能光伏系统,它可以为交流负载提供电能。图中,实线为通常情况下的电能流向,虚线为灾害情况下的电能流向。

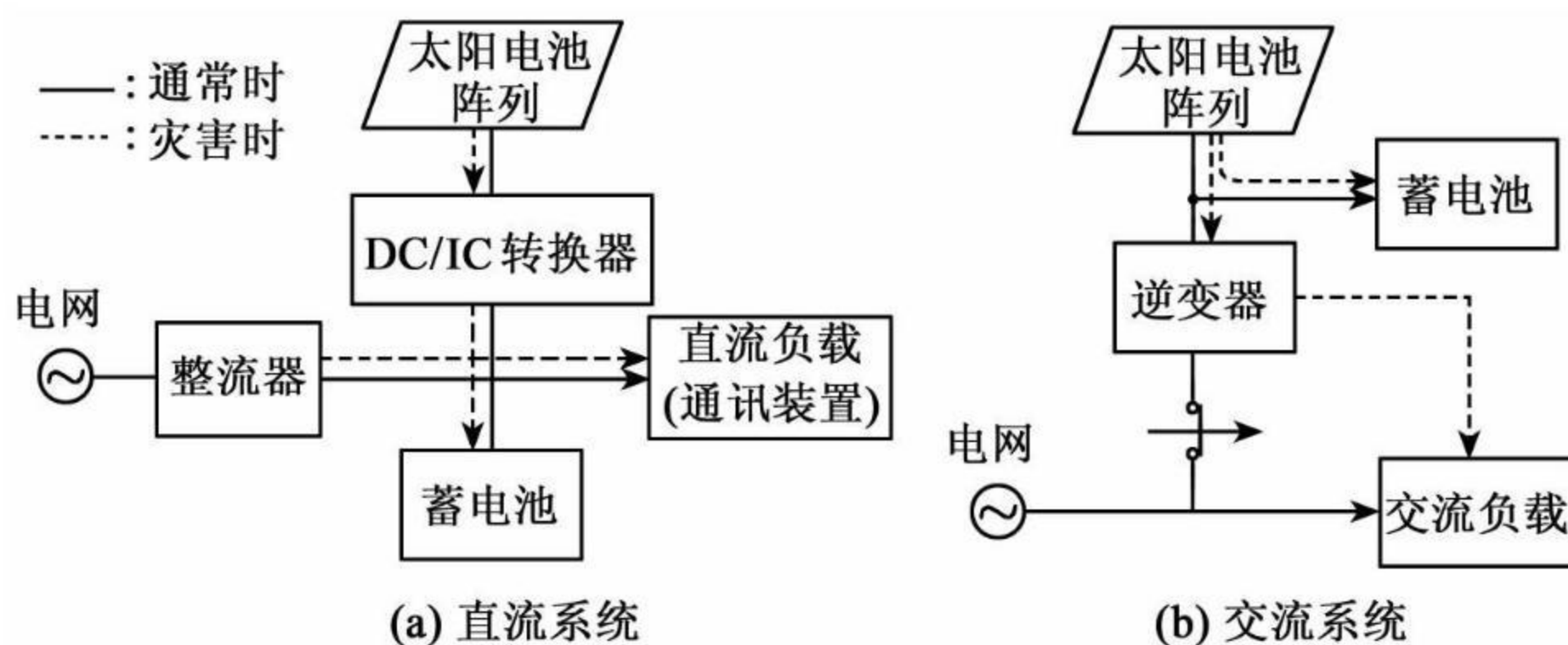


图 5.11 直、交流并网型太阳能光伏系统

5.3.6 地域并网型太阳能光伏系统

传统的太阳能光伏系统如图 5.12 所示,该系统主要由太阳能电池、逆变器、控制器、自动保护系统、负荷等构成。其特点是太阳能光伏系统分别与电力系统的配电线相连。各太阳能光伏系统的剩余电能直接送往电力系统(称为卖电);各负荷的所需电能不足时,直接从电力系统得到电能(称为买电)。

传统的太阳能光伏系统存在如下的问题:

1. 逆充电问题

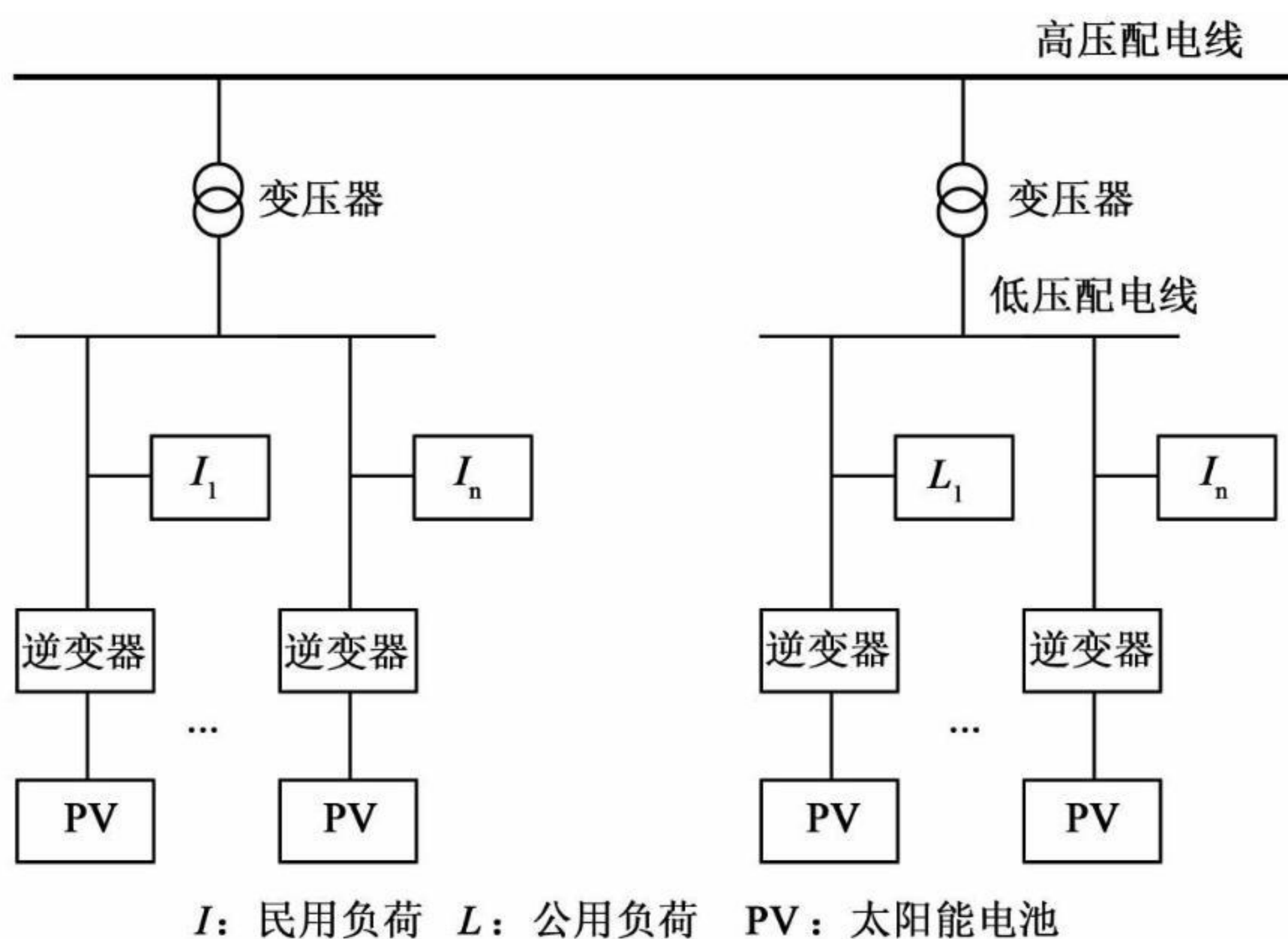


图 5.12 传统的太阳能光伏系统

所谓逆充电问题,是指当电力系统的某处出现事故时,尽管将此处与电力系统的其他线路断开,但此处如果接有太阳能光伏系统的话,太阳能光伏系统的电能会流向该处,有可能导致事故处理人员触电,严重的会造成人身伤亡。

2. 电压上升问题

由于大量的太阳能光伏系统与电力系统并网,晴天时太阳能光伏系统的剩余电能会同时送往电力系统,使电力系统的电压上升,导致供电质量下降。

3. 太阳能发电的成本问题

目前,太阳能发电的价格太高是制约太阳能发电普及的重要因素,如何降低成本是人们最为关注的问题。

4. 负荷均衡问题

为了满足最大负荷的需要,必须相应地增加发电设备的容量,但这样会使设备投资增加,不经济。

为了解决上述问题,我们提出了地域并网型太阳能光伏系统。如图 5.13 所示,图中的虚线部分为地域并网太阳能光伏系统的核心部分。各负荷、太阳能发电站以及电能储存系统与地域配电线相连,然后与电力系统的高压配电线相连。

太阳能发电站可以设在某地域的建筑物的壁面,学校、住宅等的屋顶、空地等处,太阳能发电站、电能存储系统以及地域配电线等设备由独立于电力系统的第三者(公司)建造并经营。

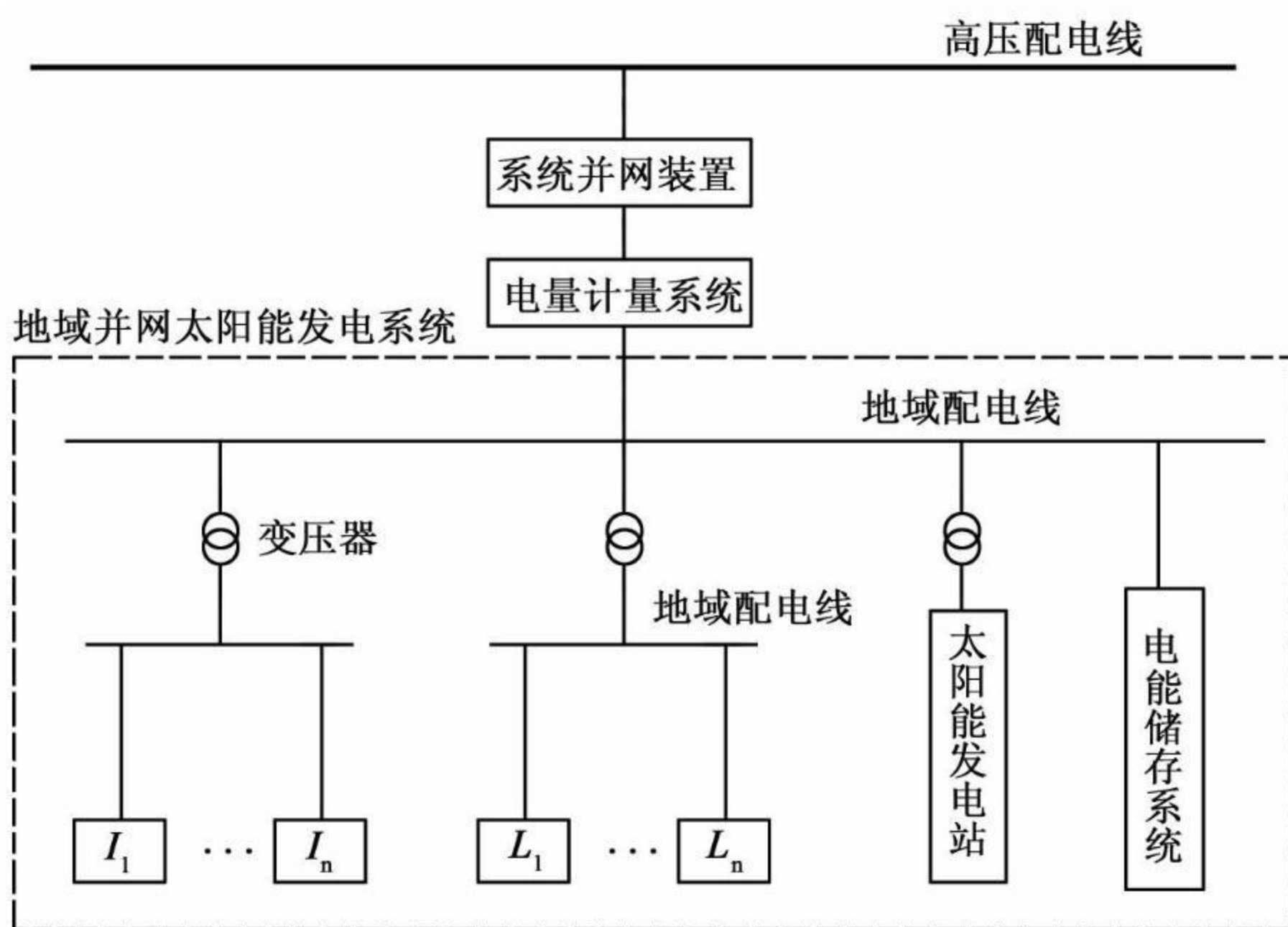


图 5.13 地域并网型太阳能光伏系统

该系统的特点是:

1) 太阳能发电站发出的电能首先向地域内的负荷供电,有剩余电能时,电能存储系统先将其储存起来,若仍有剩余电能则卖给电力系统;太阳能发电站的出力不能满足负荷的需要时,先由电能储存系统供电,仍不足时则从电力系统买电。这种并网系统与传统的并网系统相比,可以减少买、卖电量。太阳能发电站发出的电能可以在地域内得到有效利用,可提高电能的利用率;

2) 地域并网太阳能光伏系统通过系统的并网装置(内设有开关)与电力系统相连。当电力系统的某处出现故障时,系统并网装置检测出故障,并自动断开开关,使太阳能光伏系统与电力系统脱离,防止太阳能光伏系统的电能流向电力系统,有利于检修与维护。因此这种并网系统可以很好地解决逆充电问题;

3) 地域并网太阳能光伏系统通过系统并网装置与电力系统相连,所以只需在并网处安装电压调整装置或使用其他方法,就可解决由于太阳能光伏系统同时向电力系统送电时所造成的系统电压上升问题;

4) 由上述的特点 1) 可知,与传统的并网系统相比,太阳能光伏系统的电能首先供给地域内的负荷,若仍有剩余电能则由电能储存系统储存,因此,剩余电能可以得到有效利用,可以大大降低成本,有助于太阳能发电的应用与普及;

5) 负荷均衡问题。由于设置了电能储存装置,可以将太阳能发电的剩余电能储存起来,可在最大负荷时向负荷提供电能,因此可以起到均衡负荷的作用,从而大大减少调峰设备,节约投资。

5.4 混合系统

太阳能光伏系统与其他系统(如风力、集热器、燃料电池等)组成的系统称为混合系统。混合系统主要适用于以下情况:即太阳电池的出力不稳定,需使用其他的能源作为补充时;太阳电池的热能作为综合能源加以利用时的情况。混合系统一般可分成现地电源混合系统、柴油机发电混合系统以及太阳光、热混合系统。现地电源混合系统是指由太阳能光伏系统与风力发电、水力发电以及柴油机发电等组成的系统。

5.4.1 光、热混合太阳能光伏系统

图 5.14 为光、热混合太阳能光伏系统的构成。日常生活中所使用的电能与热能同时利用的太阳光-热混合集热器(Collector)就是其

中的一例。光、热混合太阳能光伏系统用于住宅负载时可以得到有效利用,即可以有效利用设置空间、减少使用的建材以及能量回收年数、降低设置成本以及能源成本等。

太阳光-热混合集热器具有太阳能热水器与太阳电池阵列组合的功能,它具有如下特点:

1) 太阳电池的转换效率大约为 10%,加上集热功能,太阳光-热混合集热器可使综合能量转换效率提高;

2) 集热用媒质的循环运动可促进太阳电池阵列的冷却效果,可抑制太阳电池单元随温度上升转换效率下降。



图 5.14 光、热混合太阳能光伏系统

5.4.2 太阳能光伏、燃料电池系统

图 5.15 为太阳能光伏、燃料电池系统,它由太阳能光伏系统、燃料电池系统构成,燃料电池所用燃料为都市煤气。该系统可以综合利用能源,提高能源的综合利用率。将来可作为个人住宅电源使用。太阳能光伏、燃料电池系统由于使用了燃料电池发电,因此可以节约电费、明显降低二氧化碳的排放量、减少环境污染。

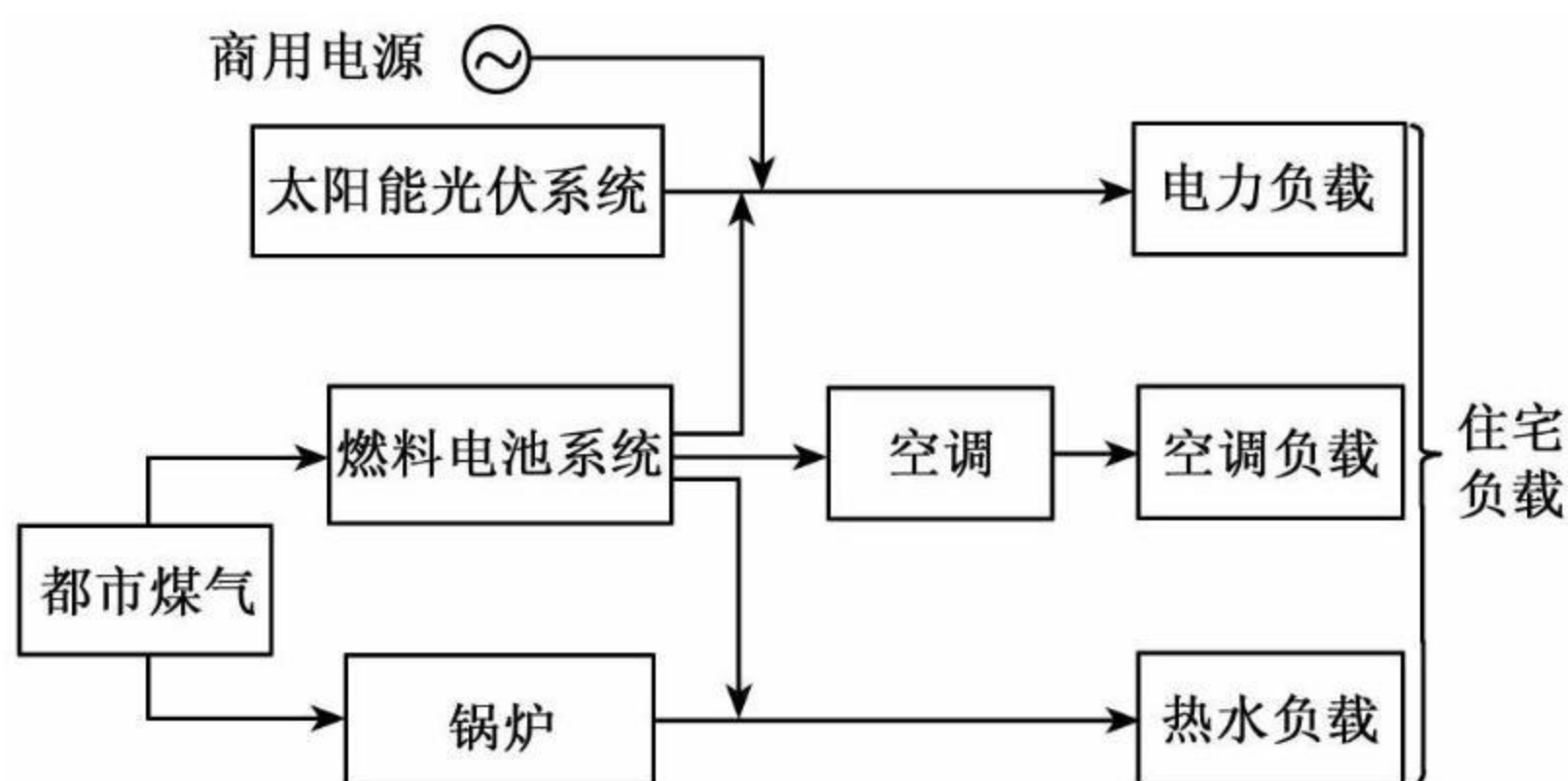


图 5.15 太阳能光伏、燃料电池系统

5.5 小规模新能源电力系统

图 5.16 为小规模新能源电力系统。该系统由发电系统、氢能制造系统、电能存储系统、负载经地域配电线相连构成（图中的虚线表示如果需要的话也可与电力系统并网）。发电系统包括太阳能光伏系统、风力发电、小型水力发电（如果有水资源）、燃料电池发电、生物质能发电等；负载包括医院、学校、公寓、写字楼等民用、公用负荷；氢能制造系统用来将地域内的剩余电能转换成氢能。当发电系统所产生的电能以及电能存储系统的电能不能满足负载的需要时，通过燃料电池发电为负载供电。

小规模新能源电力系统具有如下特点：

- 1) 与传统的发电系统相比，小规模新能源电力系统由新能源、可再生能源构成；
- 2) 由于使用新能源、可再生能源发电，因此不需要其他的发电用燃料；
- 3) 由于使用清洁的能源发电，因此对环保有利；
- 4) 氢能制造系统的使用一方面可以使地域内的剩余电力得到



图 5.16 小规模新能源电力系统

有效利用,另一方面可以提高系统的可靠性、安全性。

一般来说小规模新能源电力系统与电力系统相连可以提高小规模新能源电力系统供电的可靠性、安全性。但由于该系统有氢能制造系统和燃料电池以及电能存储系统,因此,需要对小规模新能源电力系统的各发电系统的容量进行优化设计,并对整个系统进行最优控制,以保证供电的可靠性、安全性,使其成为独立的小规模新能源电力系统。

随着我国经济的快速发展,对能源的需求越来越大。能源的迅速增加与环境污染的矛盾日益突出,因此清洁、可再生能源的应用是必然趋势。可以预见,小规模新能源电力系统与大电力系统同时共存的时代必将到来,使现在的电力系统、电源的构成等发生很大变化。

第6章 太阳能光伏系统的基本构成

太阳能光伏系统在住宅、公共以及产业等领域得到越来越广泛的应用,特别是住宅用太阳能光伏系统的应用发展比较快。根据应用领域的不同,太阳能光伏系统的构成也不同。本章主要介绍太阳能光伏系统的特点、基本构成、工作原理等。

6.1 太阳能光伏系统的特点

太阳能光伏系统所利用的能源是太阳能,由半导体器件构成的太阳电池是该系统的核心部分,太阳能光伏系统实际应用时是作为一种分散电源使用的。因此,太阳能光伏系统具有如下特点:

1. 从所使用的能源来说,太阳能发电所使用的能源是太阳能。由于太阳能的总量极其巨大,因此它是一种取之不尽、用之不竭的能源。它不产生排放物、无公害,又是一种最清洁的能源。而且它可以在地球上的任何地方使用,因此使用非常方便。但使用这种能源发电会随季节、天气、时刻的改变而改变;
2. 太阳能发电使用的是固体静止装置;发电时无可动部分,无噪音,检修维护简便;太阳电池以模块为单位,可根据用户的需要方便地选择所需容量;组件可大量生产,使成本降低;由于重量较轻,可安放在房顶、墙面、空地等处,可有效利用土地;不需要运送燃料,偏远地区可方便使用;建设周期短,设计、规划比较灵活;
3. 由于太阳能光伏系统可作为一种分散型发电系统,离负荷较近,所以输电损失以及输电成本较低;可根据当地的负荷情况灵活地选择系统的容量;可使电源多样化,提高电力系统的可靠性;可改善

配电系统的运转特性,如实现高速控制、无功功率控制等。

6.2 太阳能光伏系统的基本构成

图 6.1 为太阳能光伏系统的构成,太阳能光伏系统主要由太阳电池阵列、功率调节器、蓄电池(根据情况可不用)、负载以及控制保护装置等构成。

太阳电池阵列接收来自太阳的光能产生直流电能;功率调节器由逆变器、并网装置、系统监视保护装置以及充放电控制装置等构成,主要用来将太阳电池所产生的直流电变成交流电等;蓄电池则存储剩余电能,当太阳电池不发电时或电能不足时供负载使用。由于该系统的装置在实际应用时会根据利用的情况而变,因此,太阳能光伏系统一般由太阳电池、功率调节器以及蓄电池等外围设备构成。

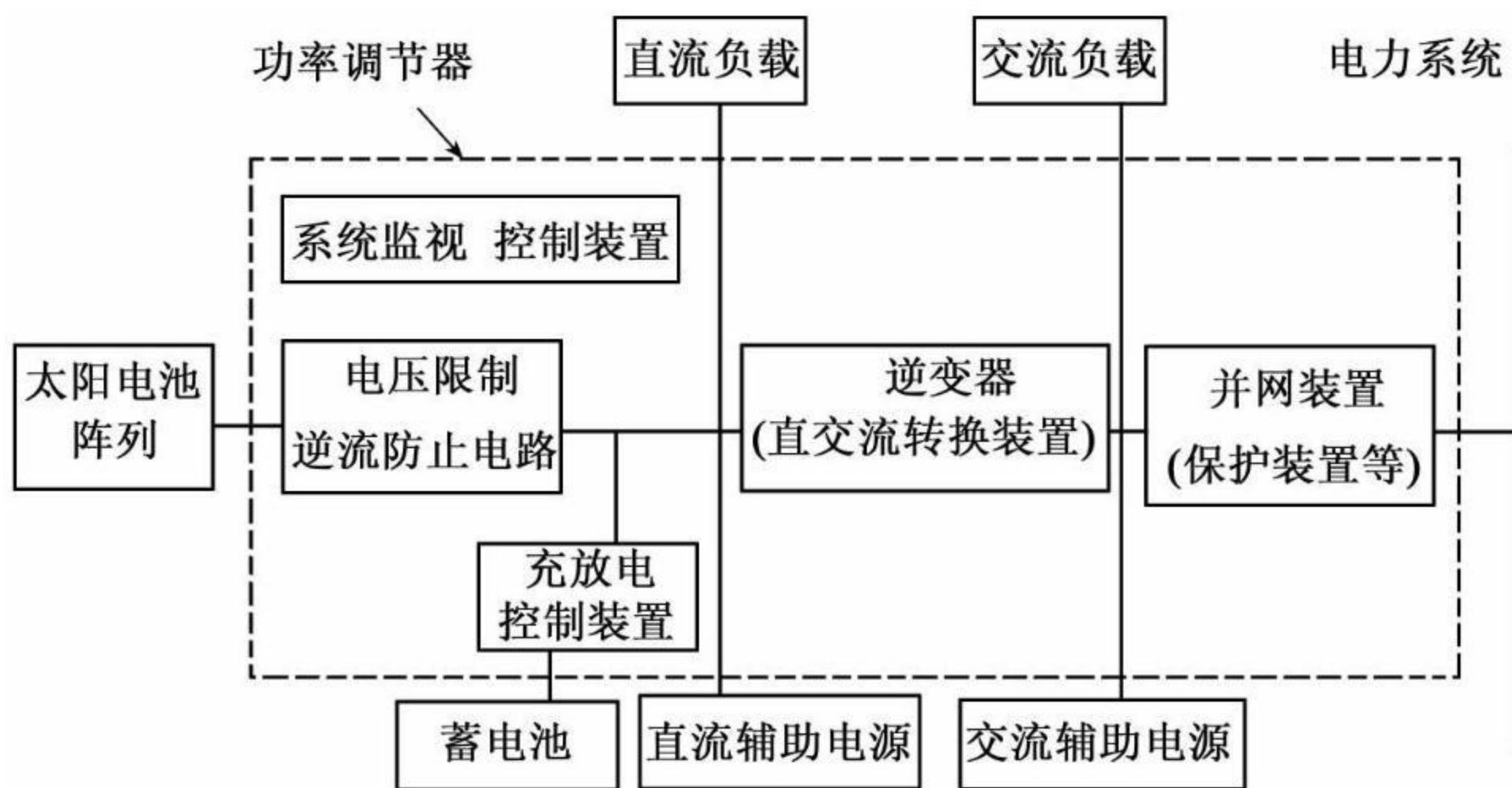


图 6.1 太阳能光伏系统的构成

图 6.2 为住宅用并网型太阳能光伏系统,它由太阳电池阵列、功率调节器、端子盒、配电盘、卖电、买电用电度表以及台架等设备构成。

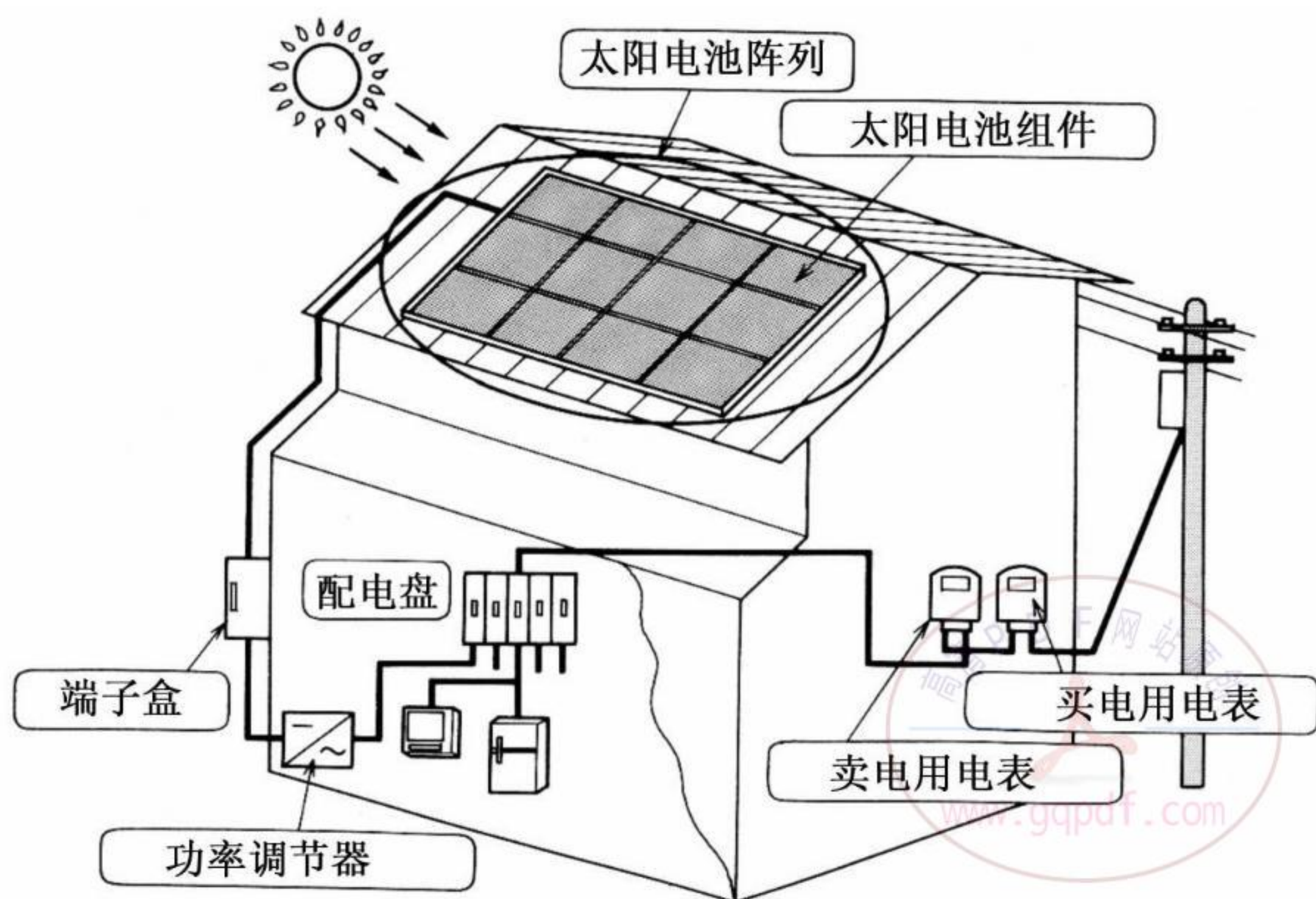


图 6.2 住宅用并网型太阳能光伏系统

6.3 太阳能电池单元、组件及阵列

6.3.1 太阳能电池单元

太阳能电池由将太阳的光能转变成电能的最小单元,即太阳能电池单元(Solar Cell)构成。它由约 10cm 角长的板状硅片形成 PN 结半导体器件构成。无负载电压约为 0.5V。除了特殊情况外,太阳能电池单元一般不单独使用。

6.3.2 太阳能电池组件

太阳能电池组件(Solar Module)由装入数十枚的太阳能电池单元,根据所需的电压、出力进行组合而成。太阳能电池组件的转换效率根据不同类型的电池而不同,单晶硅的太阳能电池为 12%~15%,多晶硅的

太阳电池为 10%~13%，非晶硅以及化合物半导体太阳电池（CdS，CdTe 等）为 6%~9%。

6.3.3 太阳电池阵列

对太阳电池组件进行必要的组合，然后安装在房顶等处而构成的太阳电池全体称为太阳电池阵列（Solar Array）。太阳电池阵列由多枚太阳电池组件经串、并联而成的组件群以及支撑这些组件群的台架构成。图 6.3 为太阳电池单元、太阳电池组件以及太阳电池阵列之间的关系。

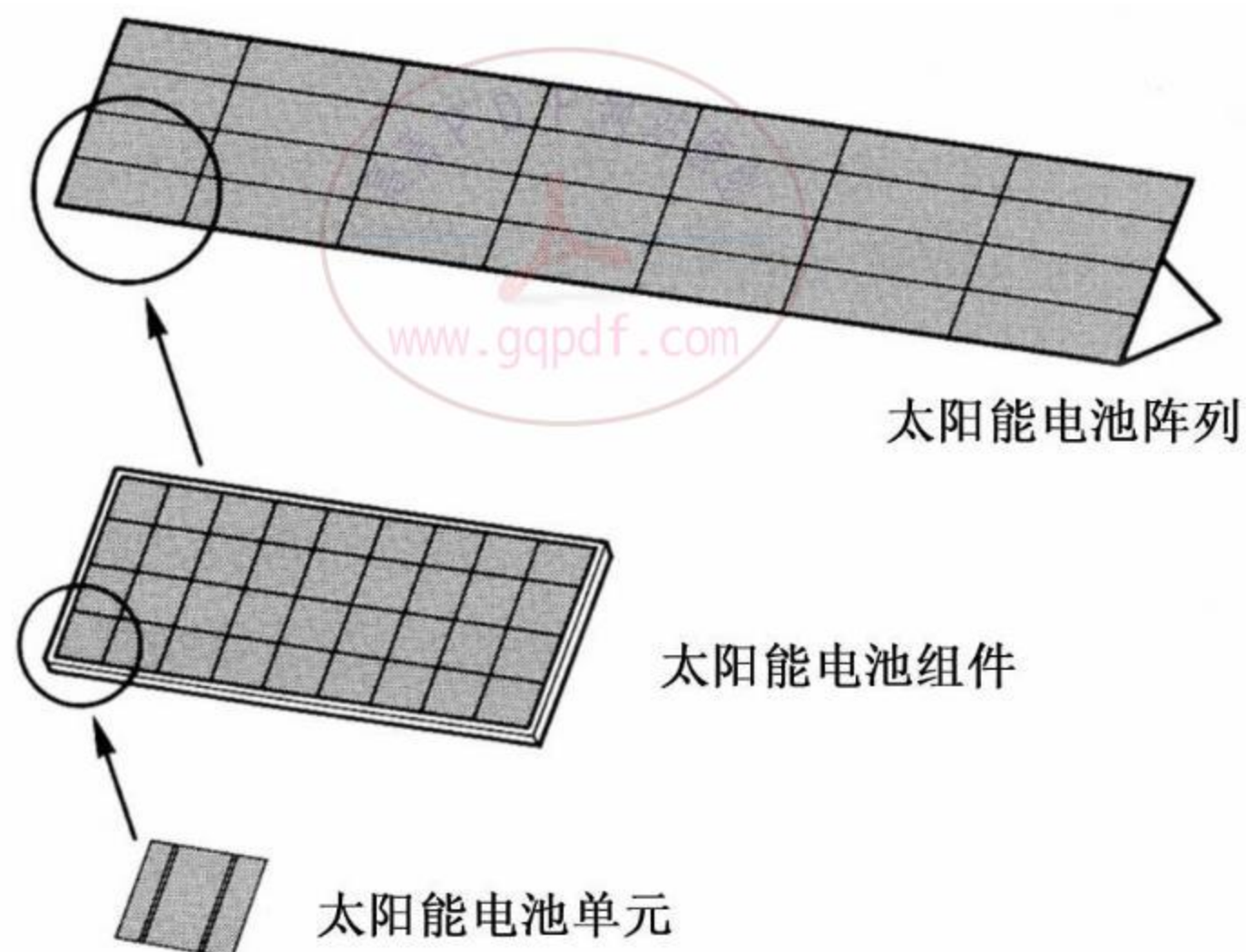


图 6.3 太阳电池单元、组件与阵列之间的关系

太阳电池阵列由多枚太阳电池组件根据所需的直流电压以及出力进行串联、并联而成，一般用金属构件将太阳电池组件固定在屋顶等处。太阳电池阵列的面积，如设置 3kW 的太阳能光伏系统一般需要约 30m² 的屋顶面积。当然，使用功率较大的太阳电池组件时，所需太阳电池阵列的面积会减少。

太阳能光伏系统的容量用标准条件下的太阳电池阵列的出力来表示。由于太阳能光伏系统的出力受日照强度、温度的影响，为了统

一标准,一般用日照强度为 $1\text{kW}/\text{m}^2$, 温度为 25°C 的所谓标准条件时的最大出力作为标准太阳电池阵列的出力。

6.3.4 太阳电池阵列的电路构成

太阳电池阵列的电路图如图 6.4 所示,由太阳电池组件构成的纵列组件(String)、逆流防止元件(二极管) D_s 、旁路元件(二极管) D_b 以及端子箱体等构成。纵列组件是根据所需输出电压将太阳电池组件串联而成的电路。各纵列组件经逆流防止元件并联构成。

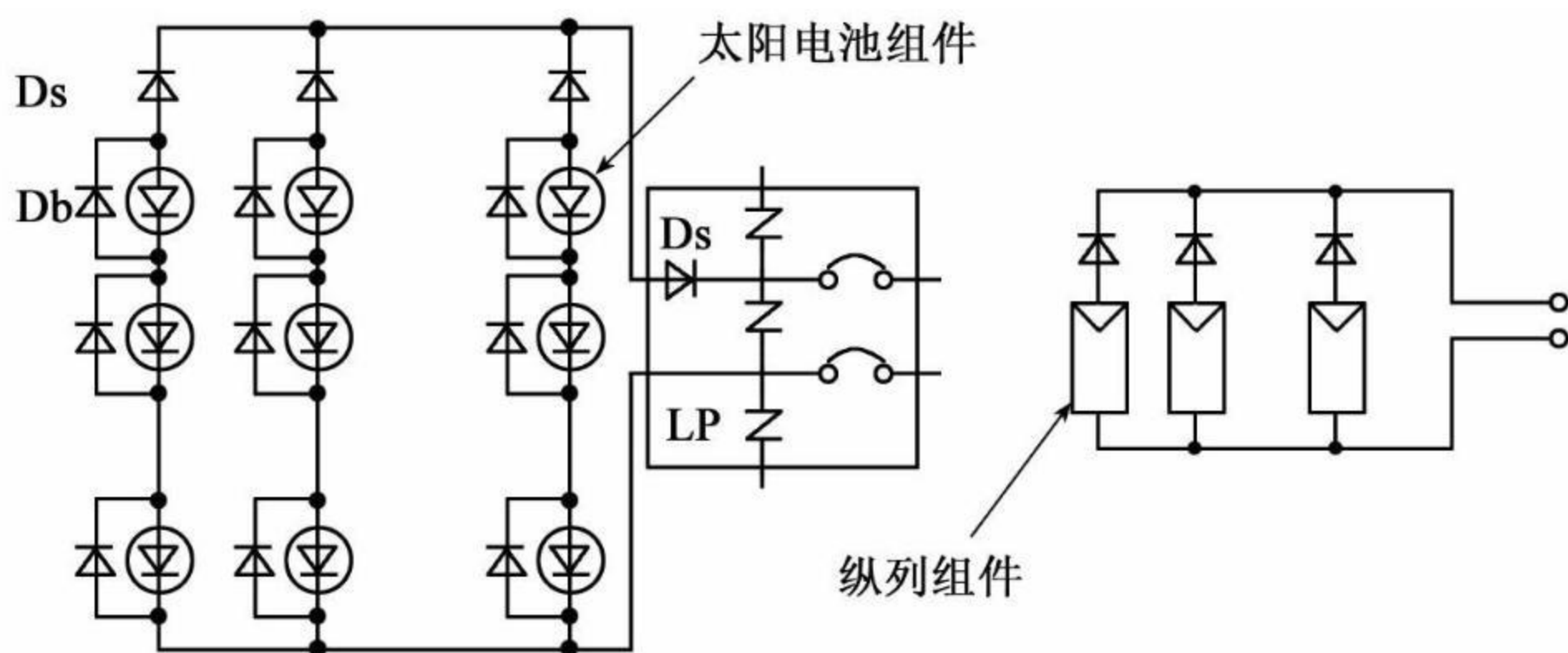


图 6.4 太阳电池阵列的电路图

当太阳电池组件被鸟粪、树叶、日影覆盖的时候,太阳电池组件几乎不能发电。此时,各纵列组件之间的电压会出现不相等的情况,使各纵列组件之间的电压失去平衡,导致出现各纵列组件间以及阵列间循环电流流动以及逆变器等情况。为了防止逆流现象的发生,需在纵列组件串联逆流防止二极管。

逆流防止二极管一般装在接线盒内,也有安放在太阳电池组件的端子箱内的。选用逆流防止二极管时,一般要考虑逆流防止二极管能通过所在回路的最大电流,并能承受该回路的最大反向电压。由于半导体元件的电气特性随使用温度的变化而发生变化,因此,应合理估计使用温度并选择合适的逆流防止二极管。当然,也可不用逆流防止二极管,而使用继电器来达到防止逆流的目的。

另外,各太阳电池组件都接有旁路二极管。当太阳电池阵列的一部分被日影遮盖或组件的某部分出现故障时,使电流不流过未发电的组件而流经旁路二极管,并为负载提供电力。如果不接旁路二极管的话,纵列组件的输出电压的合成电压将对未发电的组件形成反向电压,出现过热部分(Hot Spot),还会使全阵列的输出下降。

一般地,1~4枚组件并联一个旁路二极管,安装在太阳电池背面的端子盒的正、负极之间。选择旁路二极管时应使其能通过纵列组件的短路电流,反向耐压为纵列组件的最大输出电压的1.5倍以上。由于使用温度的影响,应选择额定电流稍大的旁路二极管。目前,市场上销售的太阳电池组件一般已装有旁路二极管,设计时则不必考虑。最近的太阳电池组件,每枚太阳电池单元具有旁路的功能。

图6.5为太阳电池阵列的实际构成图,如图左边的部分所示为纵列组件,右边部分是根据所需容量将多个纵列组件并联而成,然后与并网用逆变器相连。

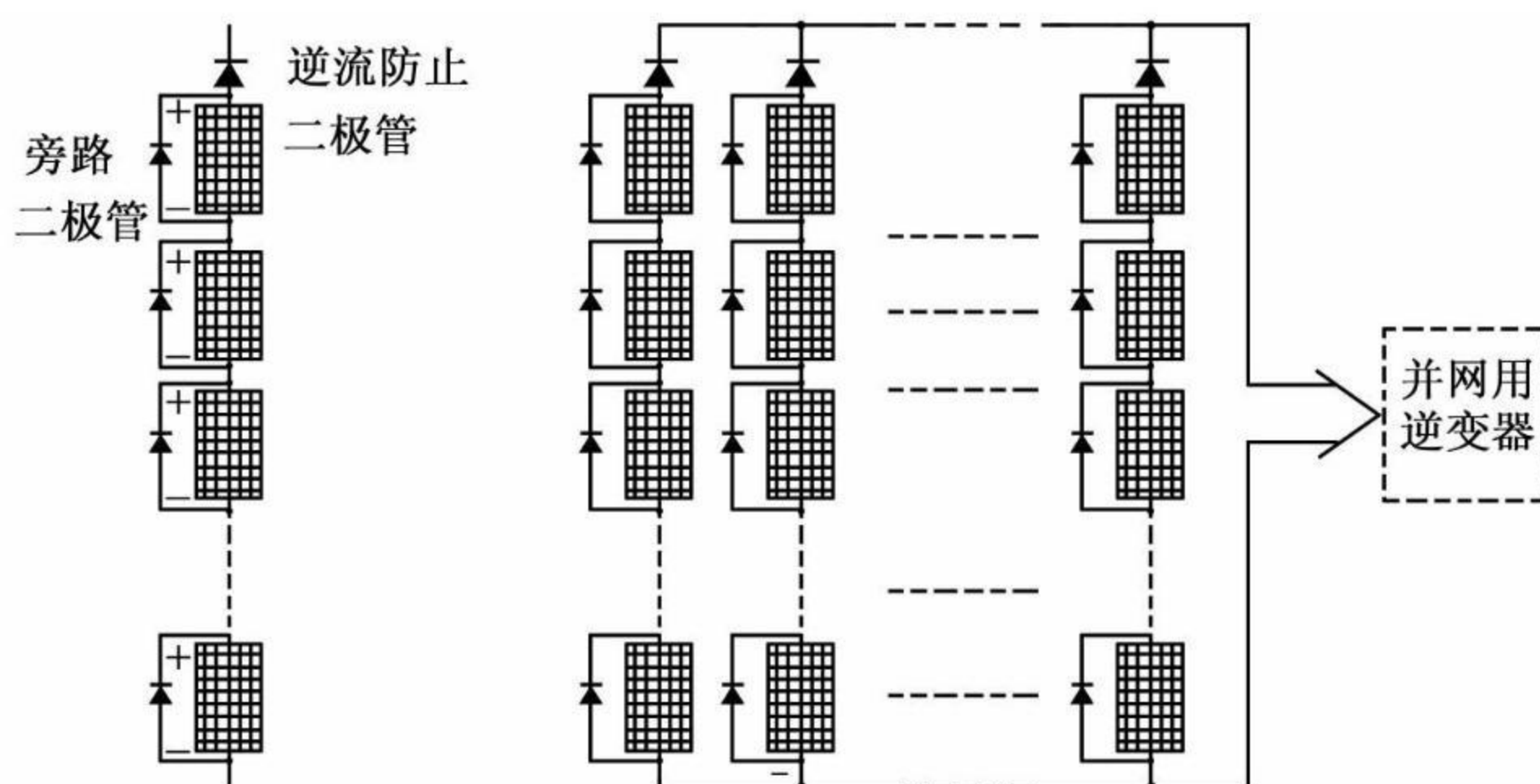


图6.5 太阳电池阵列的实际构成图

6.4 功率调节器

功率调节器(Power Conditioner)如图6.6所示,由逆变器事故保

护系统和并网保护装置构成。逆变器的功率转换部分使用功率半导体元件将直流电能转换成交流电能。控制装置的作用是控制功率转换部分。保护装置用来对内部故障进行处理。图 6.7 为功率调节器的外观。

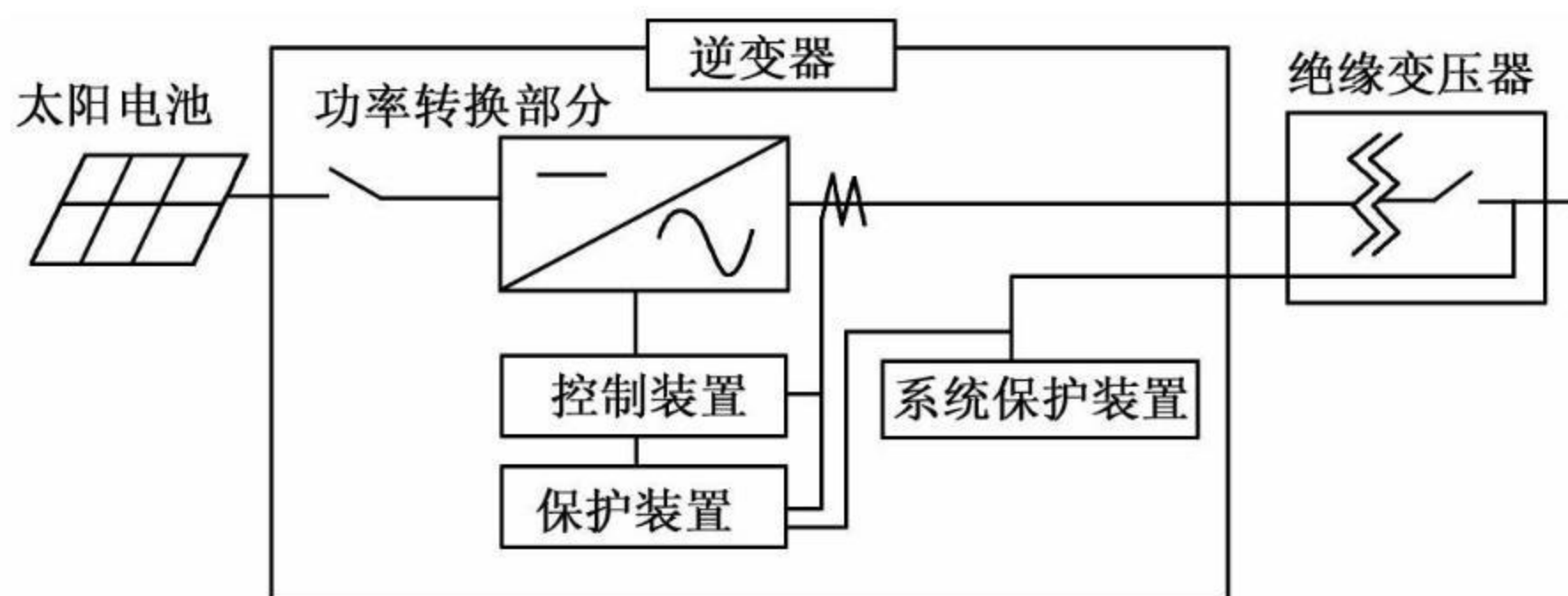


图 6.6 功率调节器的构成

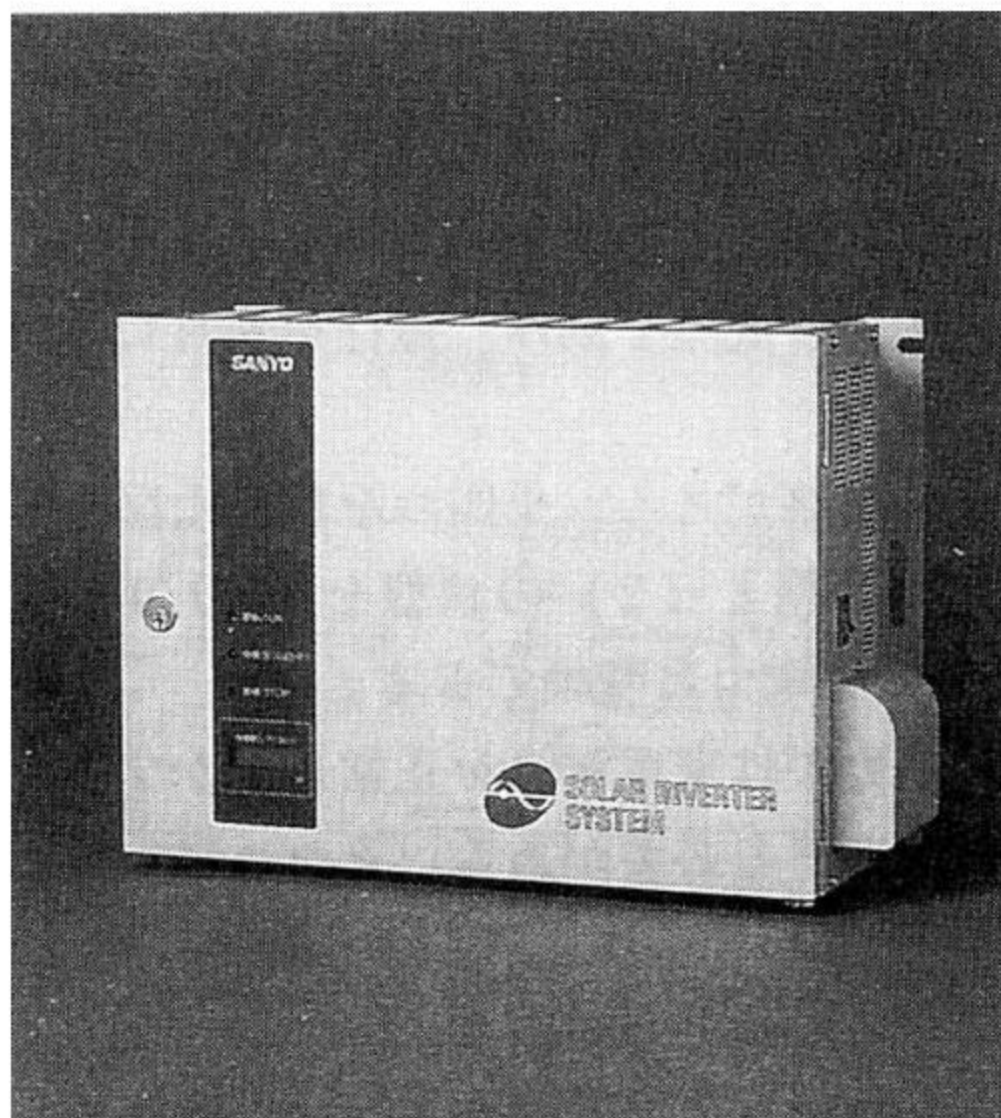


图 6.7 功率调节器的外观

6.4.1 逆变器

太阳能光伏系统中使用的逆变器(Inverter)是一种将太阳电池所产生的直流电能转换成交流电能的转换装置。它使转换后的交流电的电压、频率与电力系统向负载提供的交流电的电压、频率一致。逆变器的功能如下:

- 1) 尽管太阳电池的输出电压、功率受太阳电池的温度、日照强度的影响,但逆变器可使太阳电池的出力最大;
- 2) 抑制高次谐波电流流入电力系统,减少对电力系统的配电网的影响;
- 3) 当剩余电能流向电力系统时,能对电压进行自动调整,维持负载端的电压在规定的范围之内。

逆变器有电压型(Voltage Source Type)、电流型(Current Source Type)等多种型式。逆变器将直流电力切断时,直流侧的电压保持一定的方式称为电压型,直流侧的电流保持一定的方式称为电流型,太阳能光伏系统一般使用电压型逆变器。交流输出的控制方法有两种:电流控制方法和电压控制方法。独立太阳能光伏系统一般用电压控制型(Voltage Control Type)逆变器,系统并网型太阳能光伏系统一般用电流控制型(Current Control Type)逆变器,即电流控制电压型逆变器。

1. 逆变器的原理

如图6.8所示,逆变器由三极管或IGBT等开关元件构成,控制器使开关元件有一定规律地连续开(ON)、关(OFF),将正(或负)的直流切断,然后使极性正负交替,最后将直流输入转换成交流输出。

图6.9所示为逆变器将直流电转换成交流电的过程。半导体元件以1/100秒的速度开关,将直流切断,将其中一半的波形反向而得到矩形的交流波形,然后使矩形的交流波平滑,最后得到交流波形。

最简单的逆变器电路如图6.10所示。如果使半导体元件开关以1/100秒的速度进行,极性的状态如图状态(2)和状态(1)所示连续变化,则可以得到50Hz的矩形波的交流电。但由于家庭等负载

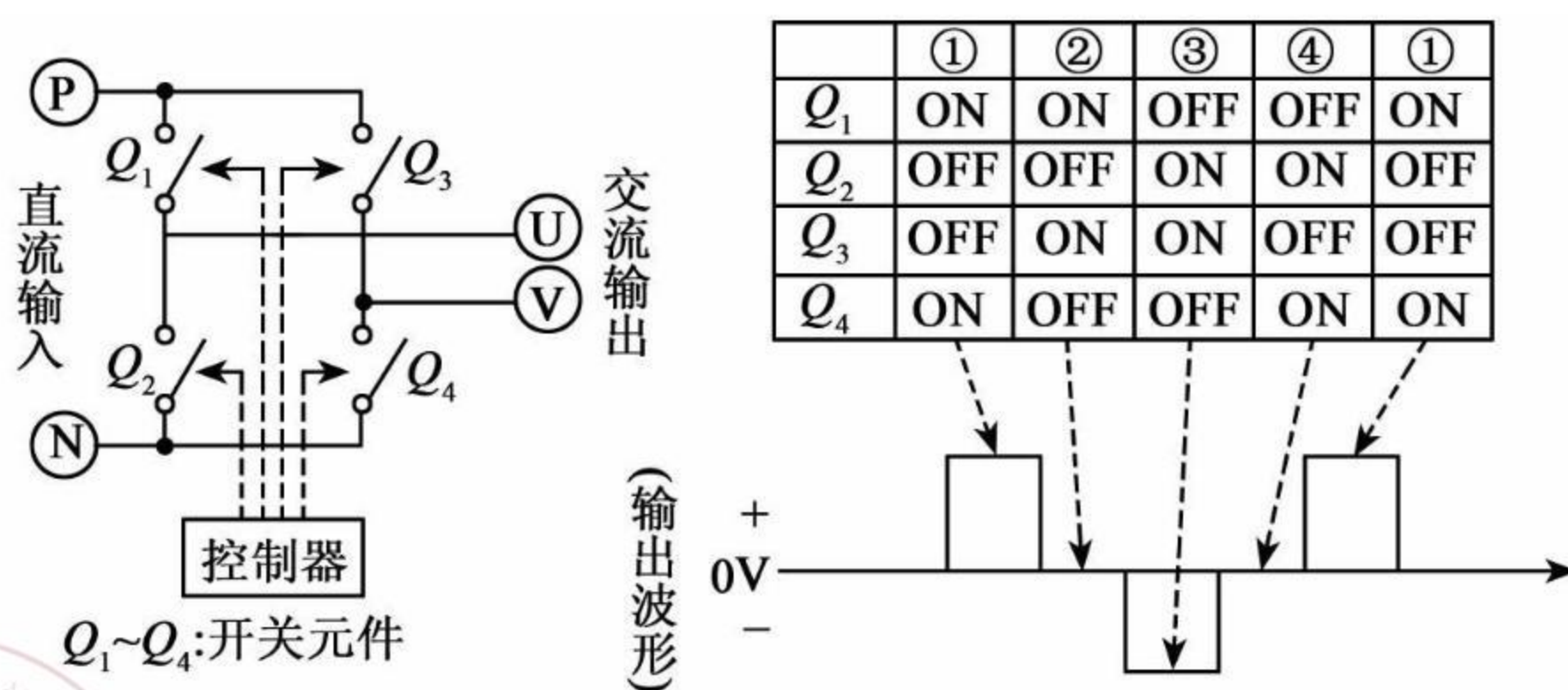


图 6.8 逆变器的原理

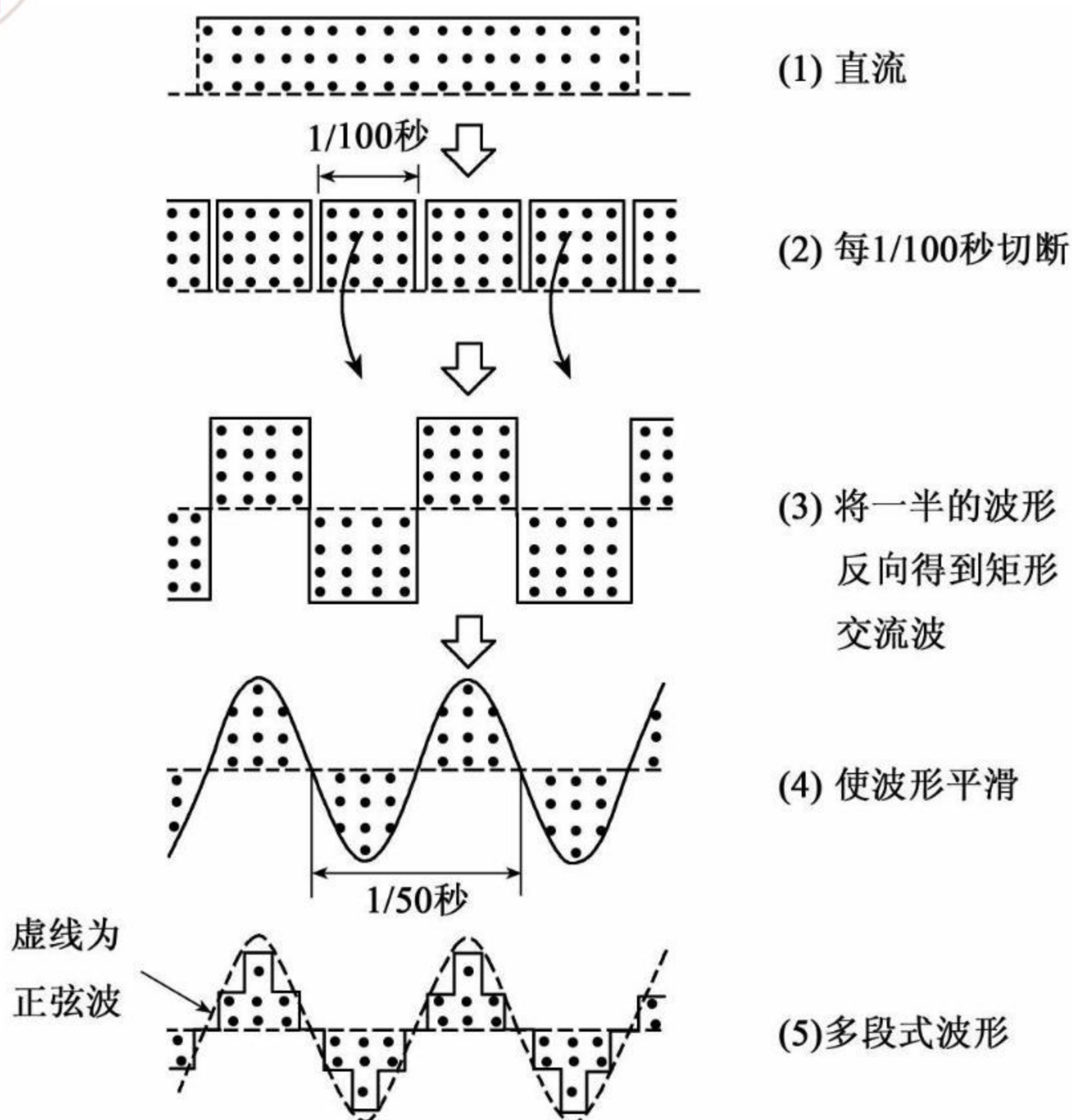


图 6.9 逆变器将直流电转换成交流电的过程

一般使用交流电,因此还必须将矩形波的交流电转换成商用电力系统的正弦波交流电。

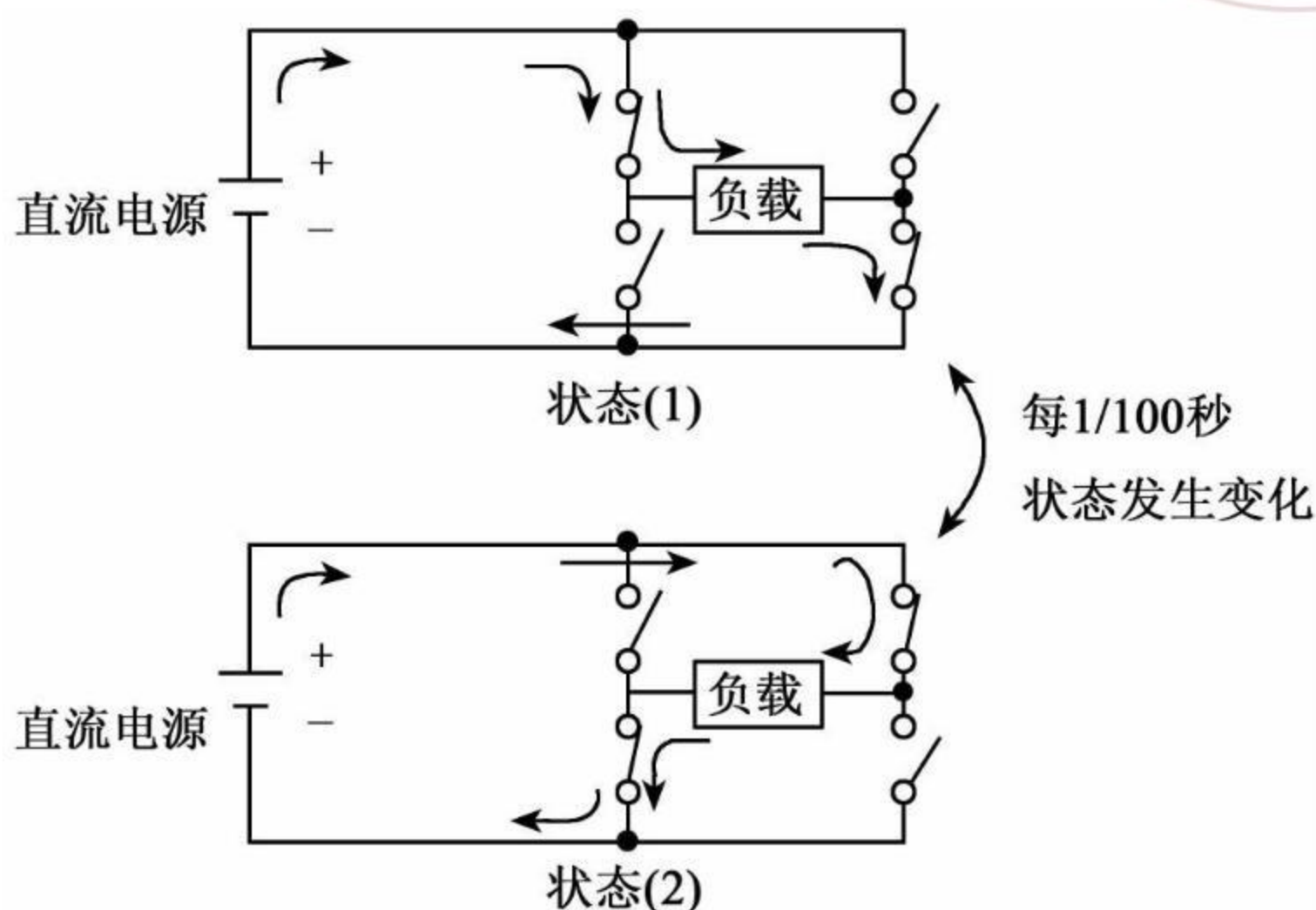


图 6.10 逆变器的简单电路

太阳能光伏系统所用的逆变器一般使用脉冲宽度调制 PWM (Pulse Width Modulation) 方式来实现将矩形波的交流电转换成商用电力系统的正弦波交流电。即利用高频 PWM 技术,使开关在半周期内同方向多次地动作,将正弦波两端附近地方的电压宽度变窄,中间部分宽度变宽,得到脉冲波的序列,然后通过滤波器则得到图 6.11 中所示的正弦波交流电。

与系统并网的逆变器是如何将太阳电池产生的电力送往电力系统呢? 其原理是先与系统电源侧同期,然后调整系统侧电压与逆变器输出电压(滤波器前)之间的相位,以调整功率和电流的流向。当逆变器侧的电压的相位超前系统侧的电压的相位时,则向系统侧输电;相反,若逆变器侧的电压的相位滞后系统侧的电压的相位,如果逆变器侧有负载的话,则系统向逆变器侧输电。

下面介绍系统并网逆变器的输出功率调整方法。图 6.12 为电流控制电压型逆变器电路。图中, e_i 为逆变器输出电压, e_L 为电抗器

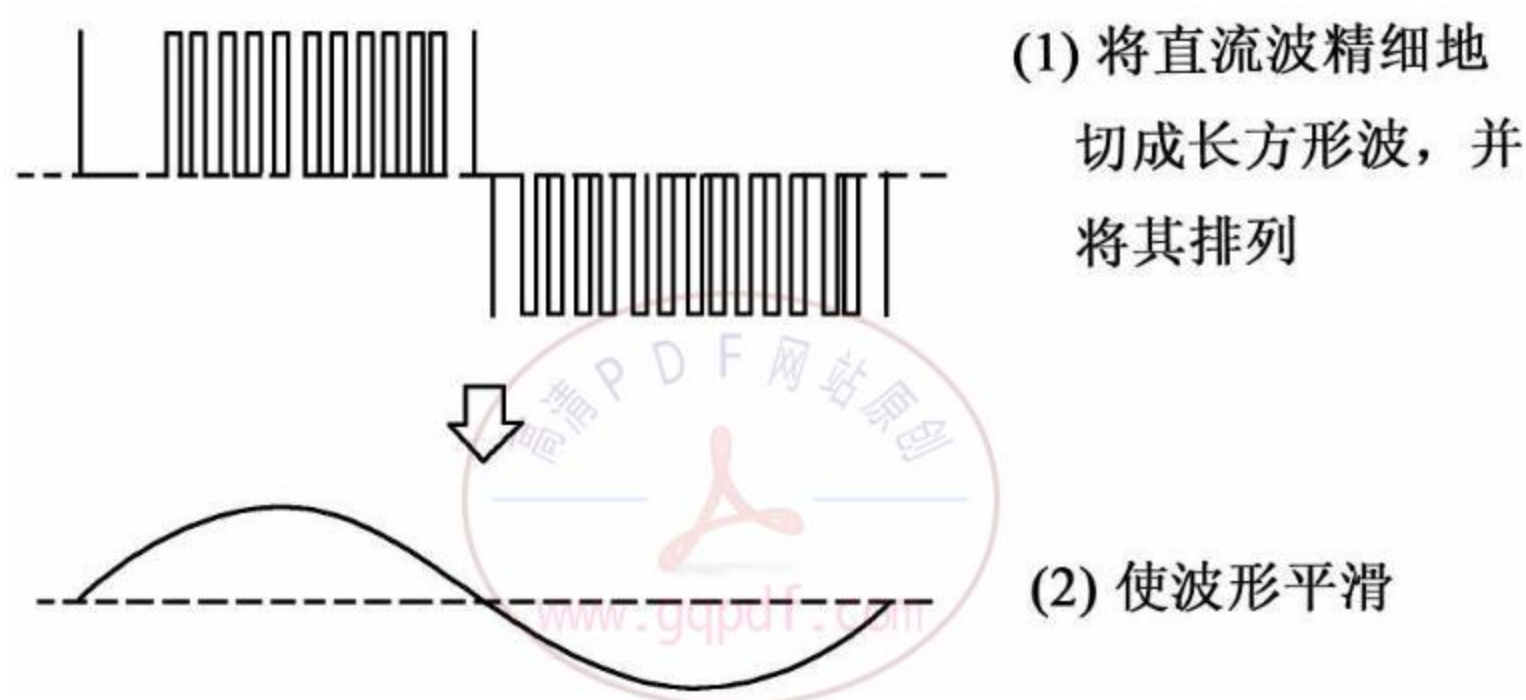


图 6.11 PWM 逆变器的原理

的电压, e_c 为系统电压, i_c 为逆变器的输出电流, 电抗器 L 称为并网电抗器。它也起 PWM 波形的平滑电抗器的作用。

逆变器始终监视系统的电压, 如果要增加输出功率, 可使半导体元件的触发时间提前, 其结果是使逆变器的输出电压的相位超前系统侧的电压的相位。由图 6.13 所示的系统并网逆变器的输出矢量图可知, 如果使误差信号的相位超前, 系统电压 e_c 与逆变器的输出电压 e_i 的相位角 θ 增加, 从而会使输出功率增加。

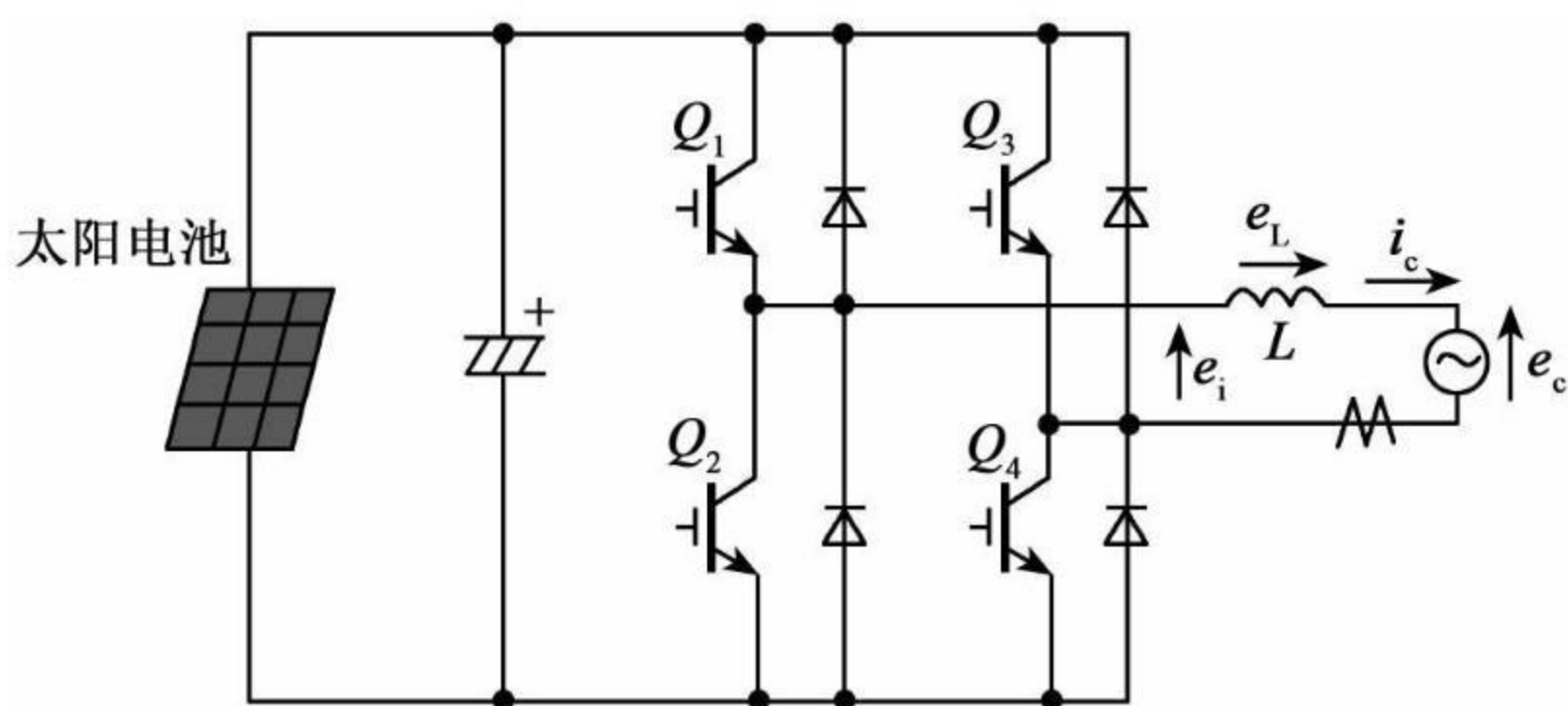


图 6.12 电流控制电压型逆变器电路

图 6.13 的矢量图表示逆变器的输出电压、输出电流以及系统电压之间的关系。利用控制手段使逆变器的输出电流 i_c 始终与系统电

压 e_c 同向, 电抗器的电压 e_L 与逆变器的输出电流 i_c 始终保持 90° 的关系并使其超前动作。

逆变器的输出功率为:

$$P = e_c \cdot i_c \quad (6.1)$$

电抗器 L 的阻抗为 ωL , 则:

$$i_c = e_L / (\omega L) \quad (6.2)$$

根据系统并网逆变器的输出矢量图可知:

$$e_L = e_i \sin \theta \quad (6.3)$$

将 (6.2)、(6.3) 式代入 (6.1) 式, 则可得出逆变器的输出功率:

$$P = \frac{e_c e_i \sin \theta}{\omega L} \quad (6.4)$$

由上式可知, 控制系统电压 e_c 与逆变器的输出电压 e_i 的相位角 θ , 则可控制逆变器的输出功率。下面将要介绍的最大功率点跟随控制与此方法基本一样, 应用自动控制技术, 边监视最大功率点边调整相位角 θ , 使太阳电池的输出功率最大。

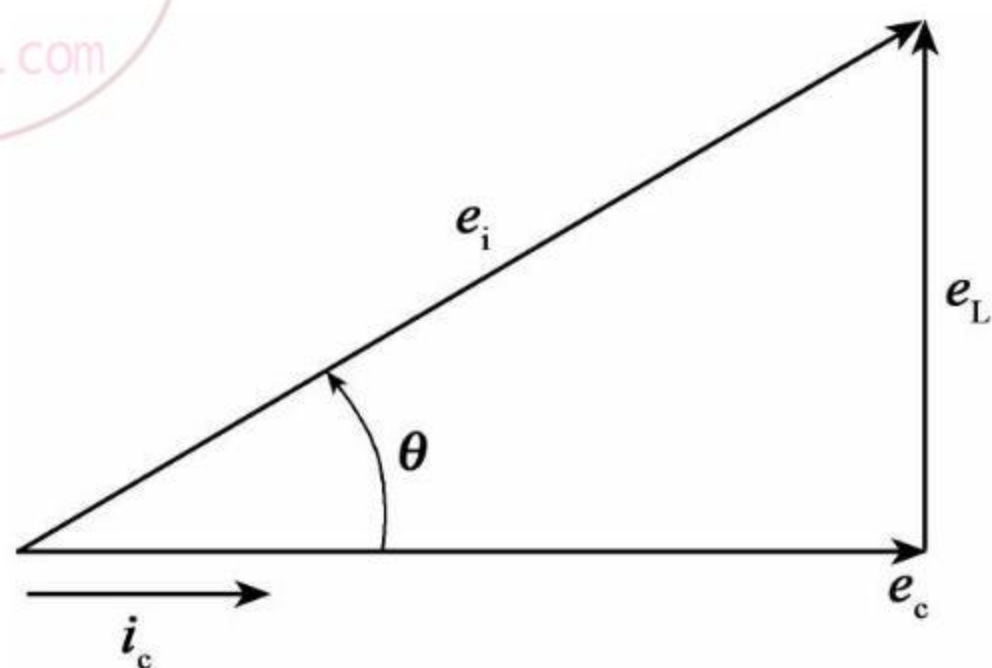


图 6.13 系统并网型逆变器的输出矢量图

2. 最大功率点跟随控制

从太阳电池输入、输出特性可知, 当电流增加时电压会降低。因此, 太阳电池特性存在最大功率时的最佳动作点 (太阳电池的输出电压、输出电流), 因此有必要进行最大功率点控制 (MPP 控制)。功率调节器具有使太阳电池的出力电压上下变动, 并监视其功率的变

化,改变电压使功率向增加的方向变化,使太阳电池输出最大功率的功能。

图 6.14 所示为最大功率点控制的基本原理。通过增减太阳电池的输出电流,使电压变化,测出相应的输出功率,然后找出最大功率点,使太阳电池的出力最大。当 A 点在最佳电压以上运行, B 点在最佳电压以下运行时,无论哪种情况都朝向最佳动作电压的 O 点移动。但是,当日射强度变化时,功率的变化与电压的操作无关,因此很难推算最佳动作电压。此时可根据多次电压操作、功率监视等,当判断为日射变化中时,则暂时停止最佳动作电压的推算。由于太阳电池的出力最大值随日照量的变化而变化,因此动作点也随之变化。为了使太阳电池的出力最大,因此功率调节器的运行条件也必须随之改变。

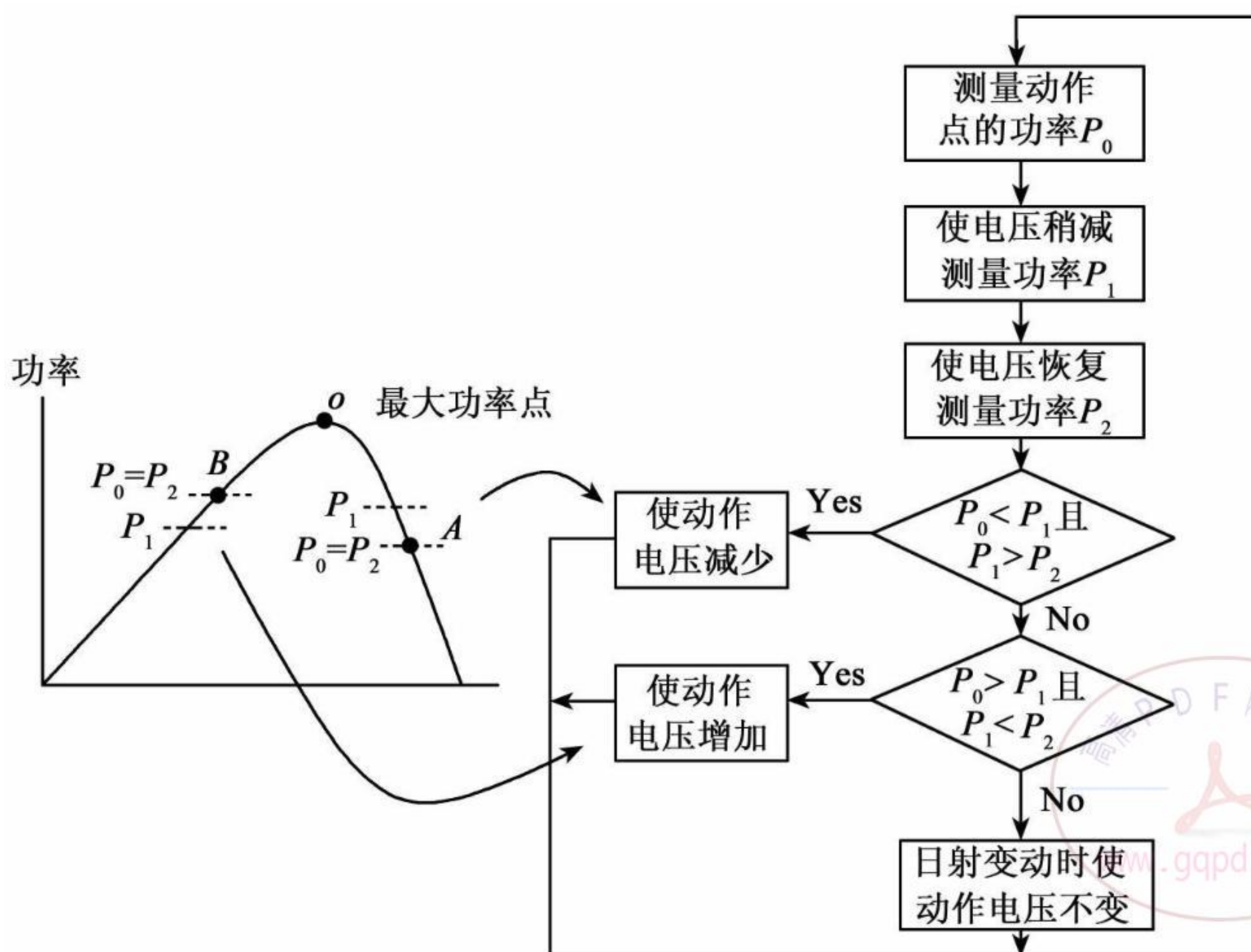


图 6.14 最大功率点控制

太阳电池组件的输出电压、输出功率特性分别如图 6.15、图 6.16 所示。图 6.15 为太阳电池的温度与输出功率的关系，图 6.16 为日照量与输出功率的关系。由图可以看出，太阳电池的温度越高，日照量越弱，则输出功率越小。因此，当这些条件变化时，由于输出功率的最大动作点发生变化，所以有必要随温度、日照量变化而相应地改变太阳电池组件的动作点，即让太阳电池组件在图 6.15、图 6.16 所示的 A、B、C、D 点的最大功率点处运行，即最大功率点跟随控制。

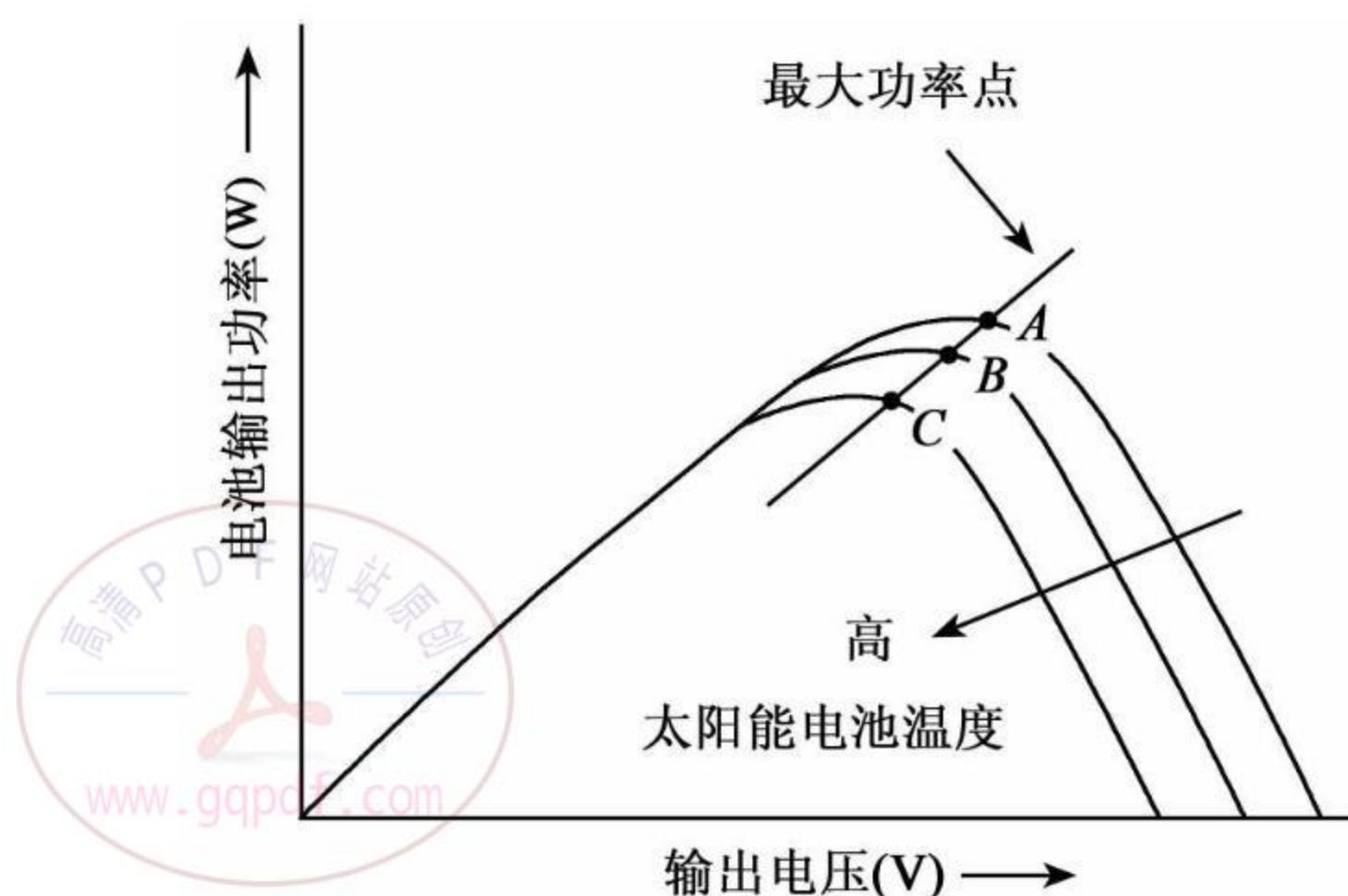


图 6.15 太阳电池的温度与输出功率

由于在电压-功率 ($V-P$) 特性曲线上存在输出功率最大点，为了使出力工作在最大功率点，有必要进行最大功率点跟踪控制 (MPPT)。最大功率点跟踪控制有登山法、 dV/dI 法、二值比较法以及遗传式算法等，这里主要介绍登山法。

登山法的原理如图 6.17 所示。最初，功率调节器控制其输出电压与太阳电池的输出电压（以下称目标输出电压） V_A 一致，当太阳电池的实际输出电压与 V_A 一致时，测出此时的太阳电池的输出功率 W_A 。然后，将目标输出电压移至 V_B 处，同样功率调节器控制其输出使实际输出电压与 V_B 一致，测出此时的太阳电池的输出功率 W_B 。

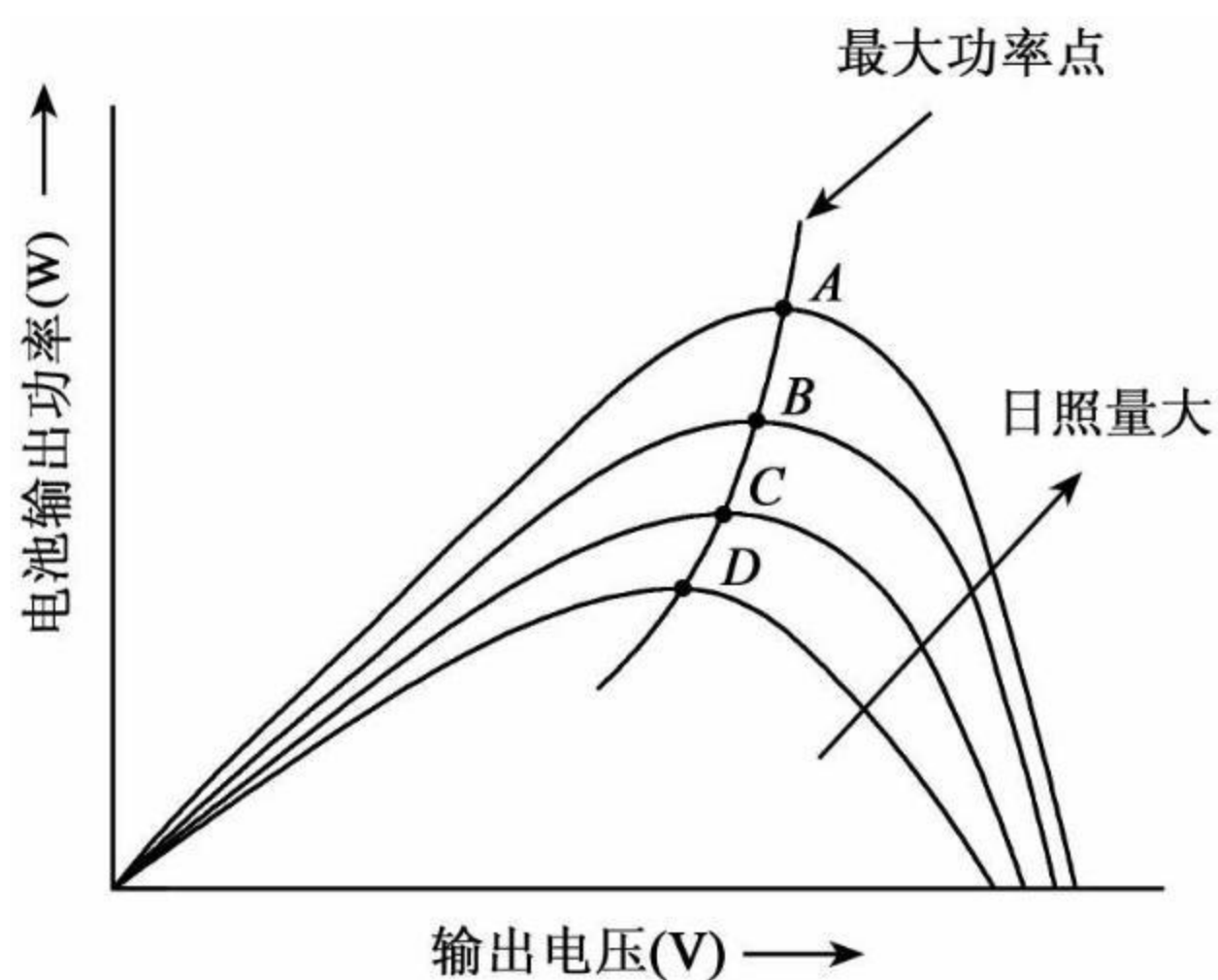


图 6.16 日照量与输出功率

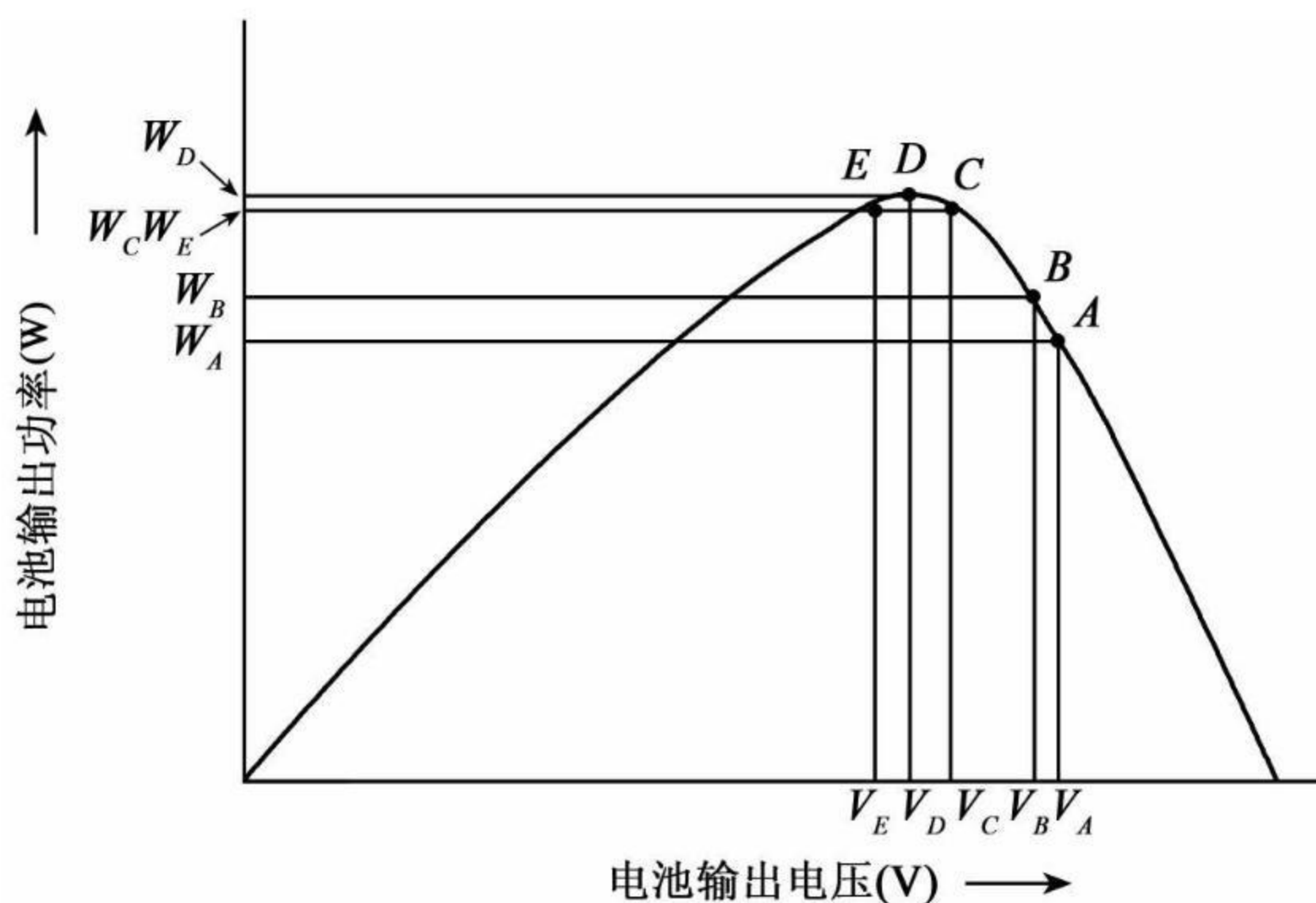


图 6.17 用登山法的最大功率点跟随控制

如果输出功率增大,即 $W_B > W_A$ 则可以断定此时的功率并非最大功率点。然后将目标输出电压变为 V_C 重复以上的过程。

这样,同样地进行重复判断,最后到达最大功率点 D 点,再从 D

点往前,然后将目标输出电压变为 V_E ,此时输出功率 W_E 变小,因此可知超过了最大功率点 (E 点)。此时,将目标输出电压返回到 V_D ,测出此时的输出功率,如果 W_D 大于 W_E ,再将目标输出电压返回到 V_C ,同样测出此时的输出功率。如果 W_D 大于 W_C ,可知又超过了最大功率点 D 点。这样不断地重复以上的过程使其在最大功率点 D 点附近运行,使太阳电池的输出功率最大。

3. 自动运行停止功能

当太阳冉冉升起,日射强度不断增大,达到可以输出电能的条件时,逆变器开始自动运行,监视太阳电池的出力,并在满足可输出电能的条件连续运行。如果出现阴天,太阳电池的出力变小,逆变器的出力接近 $0W$ 时,逆变器进入待机状态,日落时逆变器自动停止运行。

4. 自动电压调整功能

一般的家庭所使用的电压为 $220V$ 的交流电,可以使电气设备安全、稳定地工作。为了使配电线的电压维持在一定的范围之内,电气公司采用了比较复杂的控制方式。

但是,当系统并网型太阳能光伏系统与商用电力系统连接并处在逆潮流运行状态时,如果连接点处的电压超过电力系统的允许范围,则会给其他的用户带来麻烦。因此,需要设置自动电压调整功能防止连接点的电压上升。但对于小容量的太阳能光伏系统来说,由于几乎不会引起电压上升,所以一般省去此功能。

自动电压调整功能有两种方法,一个是超前相位无功功率控制方法,另一个是出力控制方法。

1) 超前相位无功功率控制

系统并网逆变器一般在功率因素为 1 的条件下运行,即逆变器输出电流的相位与商用电力系统的电压同相。但是,并网连接点处的电压上升并超过超前相位无功功率控制所设定的电压时,逆变器的输出电流的相位超前商用电力系统的电压的相位,从系统侧流入的电流为滞后电流,因此使连接点处的电压下降。超前相位无功功率控制可使功率因素达到 0.8 ,电压上升的抑制效果可达 $2\% \sim 3\%$

的程度。

2) 出力控制

由于超前相位无功功率控制只能使电压上升的抑制效果达2%~3%的程度,如果系统电压继续上升,此时必须抑制太阳能光伏系统的出力,以防止连接点处的电压上升。

5. 系统并网控制

系统并网控制的目的是使功率调节器的交流输出的电压值、波形维持在规定的范围内,使交流电流中所含的高次谐波电流在所规定的值以内,从而避免对电力系统的配电线造成大的影响。

为了满足上述要求,需要对交流输出功率的电压、电流进行控制。一般通过控制逆变器的动作的脉冲宽度变频信号(PWM信号)来实现。图6.18为系统并网控制方块图。由图可知,首先取出系统的实际交流电压,并作为逆变器的交流输出电压的目标值。功率调节器时常取太阳电池组件的最大出力,决定最大功率点动作时的太阳电池组件的目标输出电压,并与实际输出电压进行比较、运算,PID运算器计算出系统输出电流的目标值,即目标系统电流值。然后,将目标系统电流与实际的系统输出电流比较,根据运算差分值,PI控制器修正逆变器的PWM导通宽度以控制实际系统电流始终与目标系统电流相同。

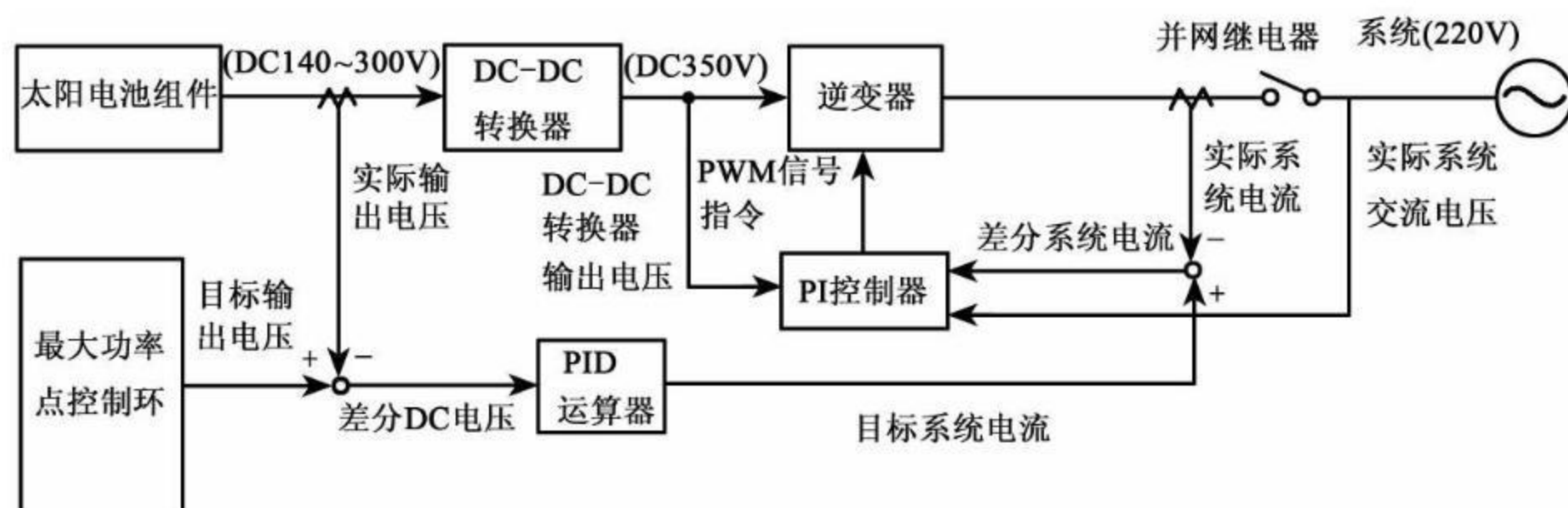


图 6.18 系统并网控制方块图

6.4.2 逆变器的绝缘方式

为了防止太阳电池的直流电流向电力系统的配电线,给电力系统造成不良影响,在功率调节器中一般设有绝缘变压器将直流与交流分开。绝缘变压器可以设置在功率调节器与住宅内配线之间,也可采用在逆变器的功率转换部分设置内藏方式,以及无绝缘变压器的方式。

功率调节器中所使用的绝缘方式有如下三种:

- 1) 低频变压器绝缘方式(工频变压器绝缘方式);
- 2) 高频变压器绝缘方式;
- 3) 无变压器绝缘方式。

绝缘变压器一般装在逆变器内,也可装在逆变器之外。所谓绝缘就是将太阳电池与电力系统之间的直流分离,而交流则通过变压器相连接,以防止逆变器故障或太阳电池组件的绝缘不良而影响电力系统。

与低频变压器绝缘方式相比,高频变压器绝缘方式具有体积小、重量轻的特点。但由于无变压器绝缘方式除了具有体积小、重量轻的特点外,还具有效率高、价格低的特点,所以这种绝缘方式越来越被广泛地应用。

1. 低频变压器绝缘方式(工频变压器绝缘方式)

该电路的输入是太阳电池的直流输出,经 PWM 正弦波逆变器变成工频后通过工频绝缘变压器变成电压输出,如图 6.19 所示。但由于绝缘变压器的容积、重量较大,一般不用于屋顶太阳能光伏系统。

2. 高频变压器绝缘方式

高频变压器绝缘方式的电路如图 6.20 所示,该电路由太阳电池直流输入,经过高频逆变器转换成高频交流电压、经高频变压器绝缘、电压变换后,经高频二极管构成的整流电路转换成直流电。这里使用了高频耦合 DC/DC 转换器。直流输出通过 PWM 正弦波逆变器转换成工频交流输出。

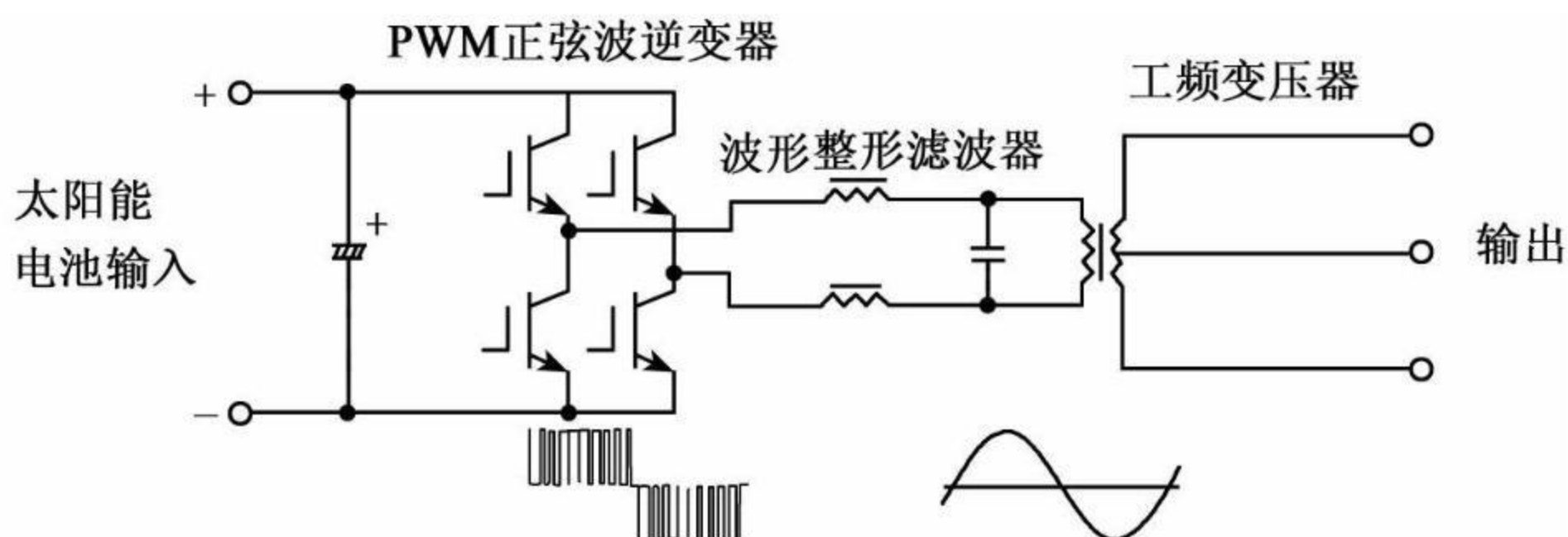


图 6.19 低频变压器绝缘方式

由于采用了高频耦合方式,所以可使装置小型化、可集成化、重量轻。与低频变压器绝缘方式相比,电路构成、控制方式比较复杂,由于经过两次转换,所以系统的效率稍稍偏低。但本绝缘方式采用较多。

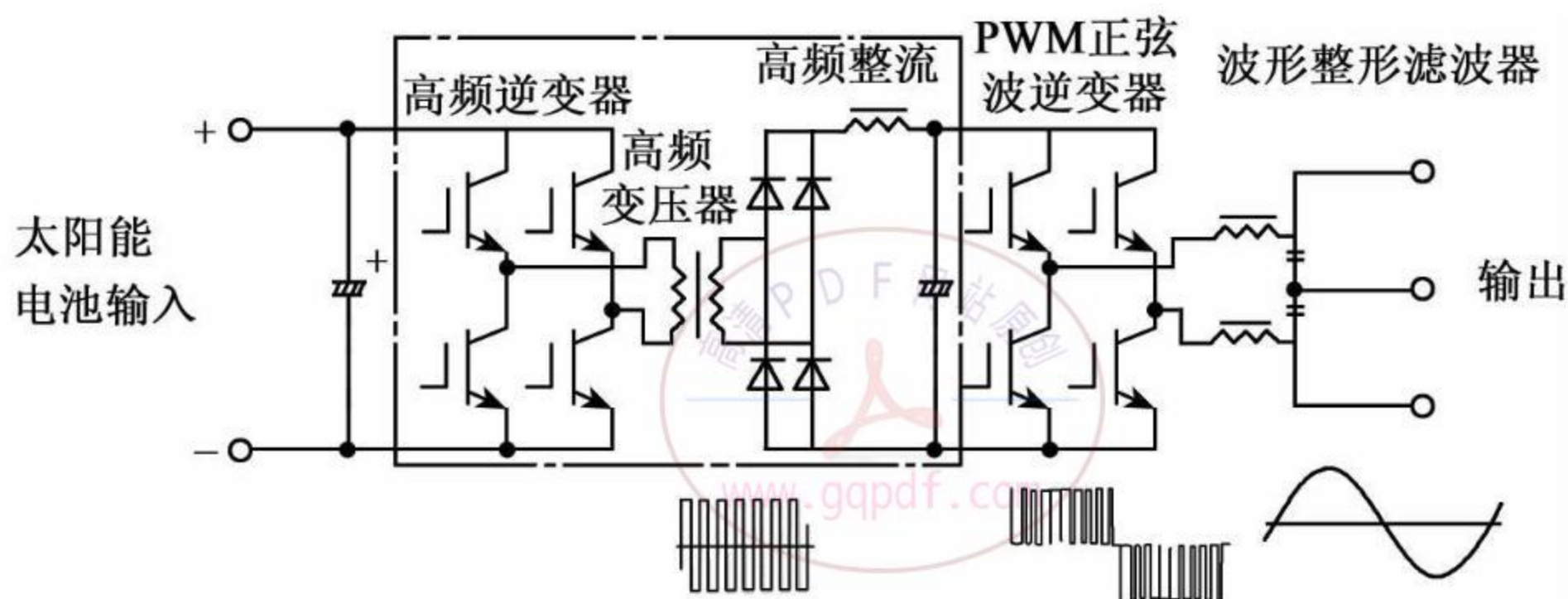


图 6.20 高频变压器绝缘方式

3. 无变压器绝缘方式

无变压器绝缘方式的电路如图 6.21 所示,太阳电池的直流输出经过升压斩波器升压,通过 PWM 正弦波逆变器,波形整形后输出。

由于不使用变压器,比较容易实现装置的小型化、轻量化;因电路简单可降低价格;串联元件减少,容易实现高效率化。因此,这种



方式在功率调节器中被广泛采用。

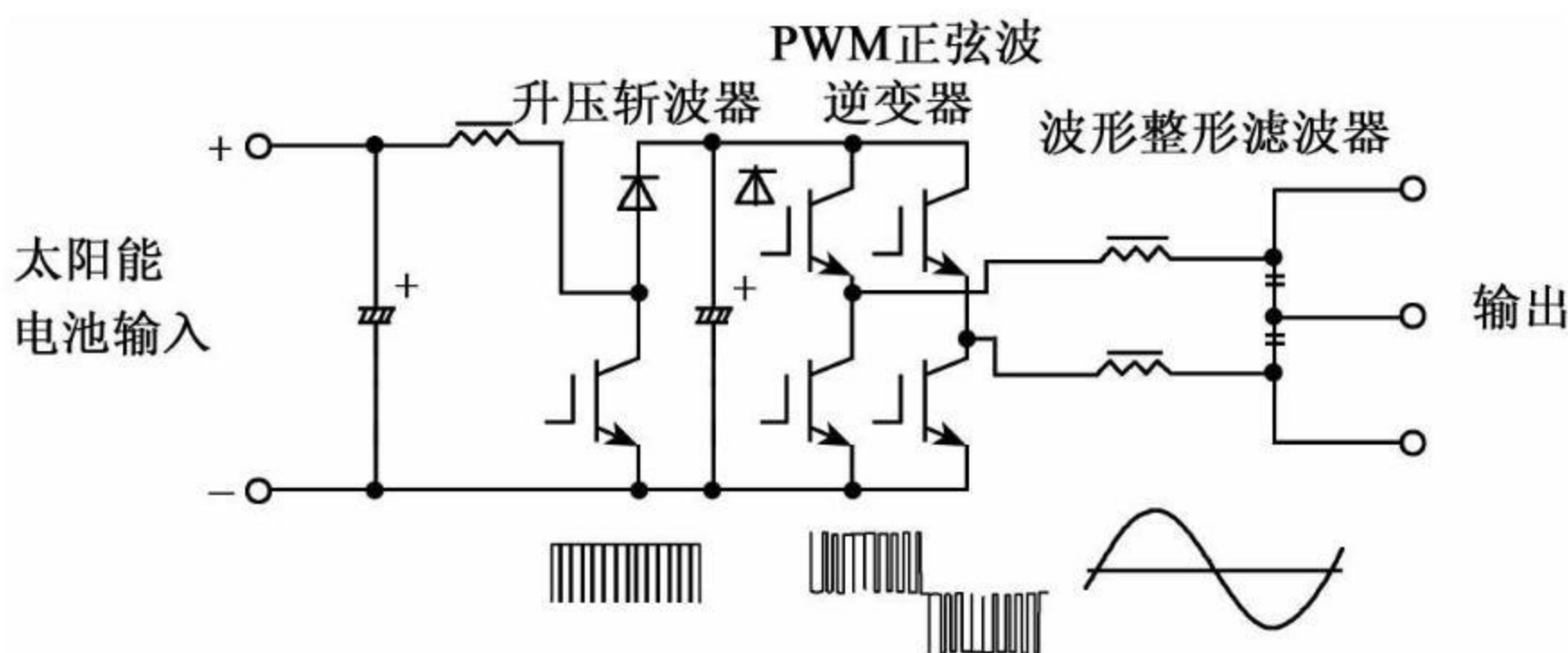


图 6.21 无变压器绝缘方式

4. 无变压器绝缘方式功率调节器的课题

虽然逆变器与电力系统之间一般设有绝缘变压器,但在住宅用太阳能发电系统中,为了使逆变器小型轻便、更加经济,现在,不带绝缘变压器的逆变器的使用范围正在不断扩大。由于省去了绝缘变压器,可以将逆变器直接安装在墙壁上而不是放在地板上,可节约空间。但是省去绝缘变压器有可能出现从太阳能发电系统的直流侧的直流电流流向电力系统的问题以及漏电问题。

由于输出电流的直流成分可能会给系统侧设备的变压器造成影响,因此必须抑制无变压器绝缘的逆变器的直流成分的电流输出,使逆变器具有检测直流成分以及保护的功能。

当太阳电池侧的直流部分对地电位发生变动时,有可能通过太阳电池的寄生电容而发生漏电的现象。这时有必要对电路的构成、控制方法等进行研究,使电力半导体元件的开关以及系统电压的商用频率成分对直流部分的对地电压不产生影响。如图 6.22 所示为单相 3 线用无绝缘变压器的逆变器电路图。在通常情况下,中性线 O 在系统侧接地,太阳能光伏系统发电时,中性线 O 与太阳电池的正极相连,使直流部分的对地电压被固定,这样可以解决漏电问题。

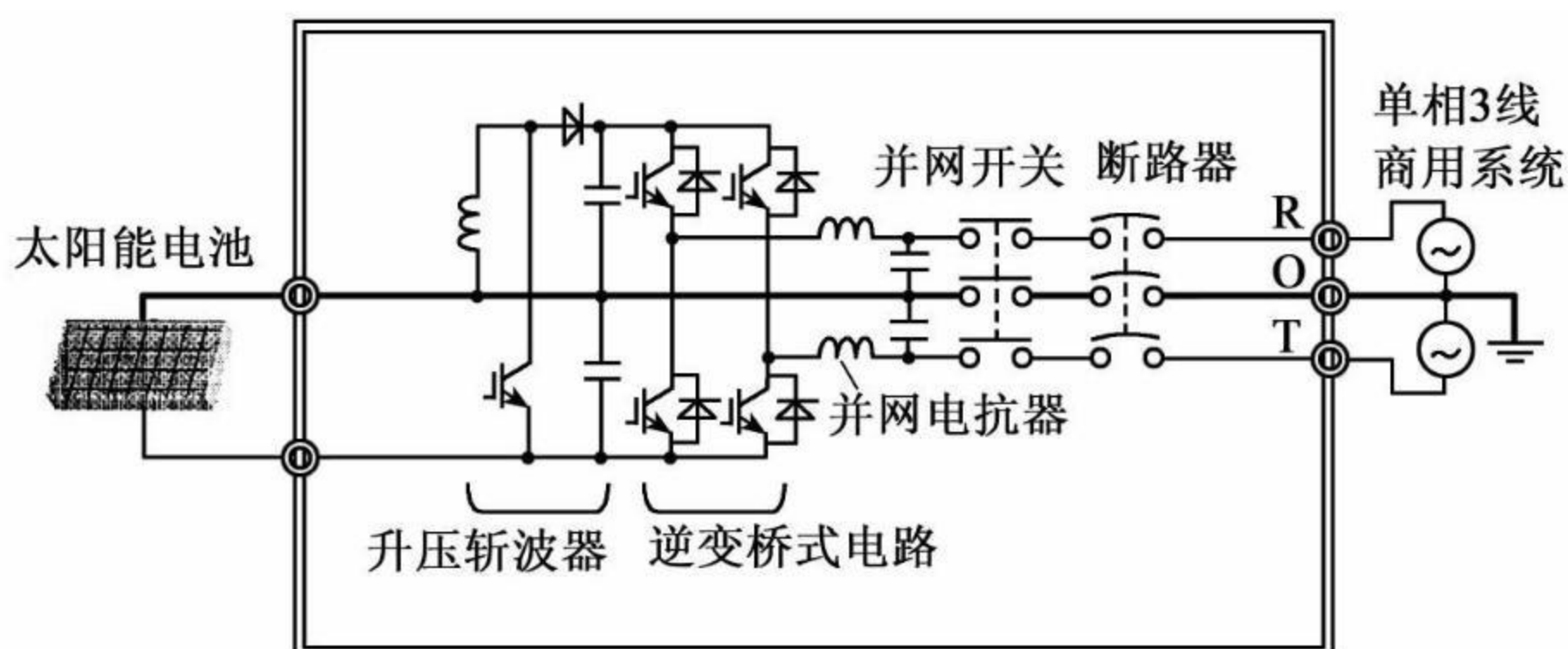


图 6.22 单相 3 线用无绝缘变压器的逆变器

6.4.3 滤波器

逆变器运行时,通过电气开关将直流电转换成 50Hz 的商用交流电,实际上波形中除了 50Hz 的成分之外,还含有 50Hz 的 5 倍 (250Hz)、7 倍 (350Hz) 等成分,即 5 次谐波、7 次谐波等。为了滤掉高次谐波而得到商用频率的正弦波,通常使用由电感线圈和电容构成的低通滤波器来实现此目的。

6.4.4 系统并网保护装置

由于太阳能光伏系统只能在有太阳光线的时候才能发电,而且所产生的电能有时不能满足负载的要求,因此在太阳能光伏系统侧电能不足的情况下,负载需要电力系统供电;相反,当太阳能光伏系统所产生的电能供给负载后出现剩余电能时,需要向电力系统逆潮流。这种将太阳能光伏系统与电力系统并网的方式称为系统并网。

太阳能光伏系统与电力系统并网时,可能会使电力系统的电能品质降低,给其他的用户以及人身安全带来影响。为了避免这些情况的出现,设置系统并网保护装置是必要的。

住宅用太阳能光伏系统一般通过低压配电网并网,系统并网保护装置如下:

- 1) 过电压继电器;
- 2) 低电压继电器;
- 3) 频率上升继电器;
- 4) 频率下降继电器;
- 5) 主动式单独运行防止装置;
- 6) 被动式单独运行防止装置。

使用这些系统并网保护装置可以自动检测出配电系统侧或住宅侧的事故,迅速将太阳能光伏系统与配电系统分离,使其运行停止。

发生事故的现象与保护继电器的关系如下表:

事故发生处	事故现象	保护继电器
自家用发电设备	逆变器的控制部分异常导致电压上升	过电压继电器
	逆变器的控制部分异常导致电压下降	低电压继电器
电力系统	被并网的系统短路	低电压继电器
	系统事故以及施工停电等引起的单独运行状态	单独运行检测功能 过电压继电器、低电压继电器、频率上升继电器、频率下降继电器

6.4.5 单独运行检测

由于太阳能光伏系统与电力系统的配电线并网运行,当系统由于某种原因发生异常而停电时,如果不使太阳能光伏系统停止工作,则会向配电线继续供电,这种运行状态被称为单独运行状态。由于电力系统事故或检查而停止运行时,太阳能光伏系统处在单独运行发电状态下,发电功率与负荷功率平衡时容易发生这种现象。

如果停电时太阳能光伏系统向电力系统逆充电,电力公司的作业人员有触电的危险,因此单独运行状态时会威胁到配电线的恢复

作业人员的人身安全。它不仅妨碍停电原因的调查以及正常运行的尽早恢复,而且有可能给配电系统的某些部分造成损害。为了确保停电作业者的安全以及防止系统恢复供电时的障碍,电力系统停电的时候,必须使太阳能光伏系统与电力系统自动分离。

检测出单独运行状态的功能称为单独运行检测。检测出单独运行状态,并具有使太阳能光伏系统停止运行的功能称为单独运行防止。一般来说,单独运行检测功能除了对电压、频率进行监视外,还必须具有主动式、被动式这两种单独运行检测功能。这是因为:系统停电时,通常根据系统电压、频率的异常检测出是否停电,但当太阳能光伏系统所产生的电能与用户的电能一致时,不会引起系统的频率、电压变化,此时无法检测出电力系统是否停电。

1. 被动式单独运行检测方式

被动式是一种实时监视电压的相位、电压以及频率变化率等状态,检测出单独运行状态的方法。即检测出太阳能光伏系统与电力系统并网时的状态与电力系统停电时向单独运行过渡时的电压波形、相位等变化,从而检测出单独运行状态。

被动式单独运行检测方式有电压相位跳跃检测方式、三次谐波电压畸变急增检测方式以及频率变化率急变检测方式等。电压相位跳跃检测方式比较常用。

1) 电压相位跳跃检测方式

当向单独运行过渡时,由于发电出力与负荷的不平衡会导致电压的相位产生急变。因此可检测连接点处电压的相位的变化来判断单独运行。

2) 三次谐波电压畸变急增检测方式

系统停电时,功率调节器的输出正弦电流流向变压器,此时发生的电压由于变压器的磁特性的作用使三次谐波激增。可通过检测连接点处的三次谐波激增现象来判断单独运行。

3) 频率变化率急变检测方式

当向单独运行过渡时,负载的阻抗会导致电压的频率急变。通过检测连接点处电压的频率变化来判断单独运行。

目前,通常用电压相位跳跃检测方式,如图 6.23 所示,其方法是:周期地测出逆变器的交流电压的周期,如果周期的偏移超过某值以上时,则可判定为单独运行状态,此时使功率调节器的逆变器停止运行。通常,与电力系统并网的逆变器在功率因素为 1 (电力系统电压与逆变器的输出电流同相) 的情况下运行,逆变器不向负载供给无功功率,而由电力系统供给无功功率。但单独运行时电力系统无法供给无功功率,逆变器不得不向负载供给无功功率,其结果是使电压的相位发生急变。因此,可检测出电压的相位变化,判断出单独运行状态。

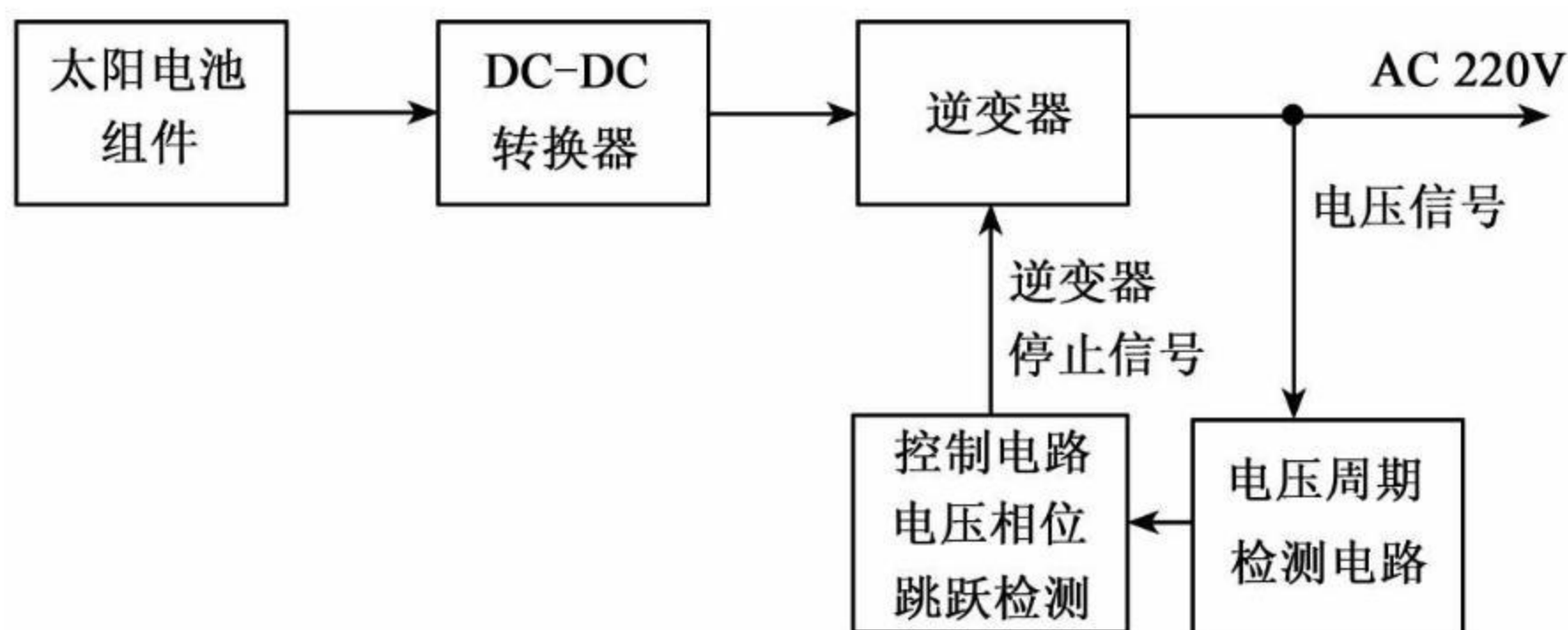


图 6.23 电压相位跳跃检测方式

2. 主动式单独运行检测方式

主动式的原理是:功率调节器时常发出如频率、输出功率的变化量,根据出现的结果、状态变化检测出单独运行状态。太阳能光伏系统与电力系统处于并网状态时不会出现频率、输出功率的变化量,单独运行时则会出现这些变化量,因此可由检测出的这些变化量确定是否为单独运行。

主动式单独运行检测方式有频率偏移方式、有功功率变动方式、无功功率变动方式以及负载变动方式等。频率偏移方式以及无功功率变动方式比较常用。

1) 频率偏移方式



并网中的输出电流一般跟随系统电压的频率,以此频率为中心并以一定的范围周期地增减输出电流的频率。当向单独运行过渡时,对由输出电流与负荷的阻抗而产生的电压的周期性频率变化进行控制,使正反馈作用增加然后检测单独运行。

2) 有功功率变动方式

在并网的情况下,使有功功率周期性地变化,对向单独运行过渡时所产生的周期性的电压、电流以及频率变化进行控制,使正反馈作用增加然后检测单独运行。

3) 无功功率变动方式

在并网的情况下,使无功功率周期性地变化,对向单独运行过渡时所产生的周期性的电压、电流以及频率变化进行控制,使正反馈作用增加然后检测单独运行。

4) 负载变动方式

对功率调节器的输出瞬时、周期也插入(并联)负载阻抗,检测单独运行时出现的输出电压、输出电流的变化以判断是否为单独运行。

判断单独运行常用频率偏移方式,它是根据单独运行中的负荷状态,使出力的频率在额定值上下缓慢地进行平移的方式。即在系统的频率允许变化范围内使太阳能光伏系统的频率变化,根据系统是否跟随其变化来判断是否单独运行。图 6.24 为频率偏移方式方框图。使逆变器的输出频率相对于系统频率变动正负 0.1Hz,在与系统并网时,此频率的变动会被系统所吸收,因此,系统的频率不会改变。而单独运行时,此频率的变动会引起系统频率的变化,根据检测出的频率可以判断出单独运行。一般地,当频率在所定值范围外的状态持续 0.5 秒以上时,则使逆变器停止运行,并使与系统并网的开关用继电器(并网继电器)断开,与系统分离。

3. 自立运行系统

当电力系统停电时,与电力系统并网的太阳能光伏系统被分离而运转的状态称为自立运行。它可以在地震、火灾等灾害时,当电力系统停电时有效地被使用。前面所述的单独运行是指电力系统事故

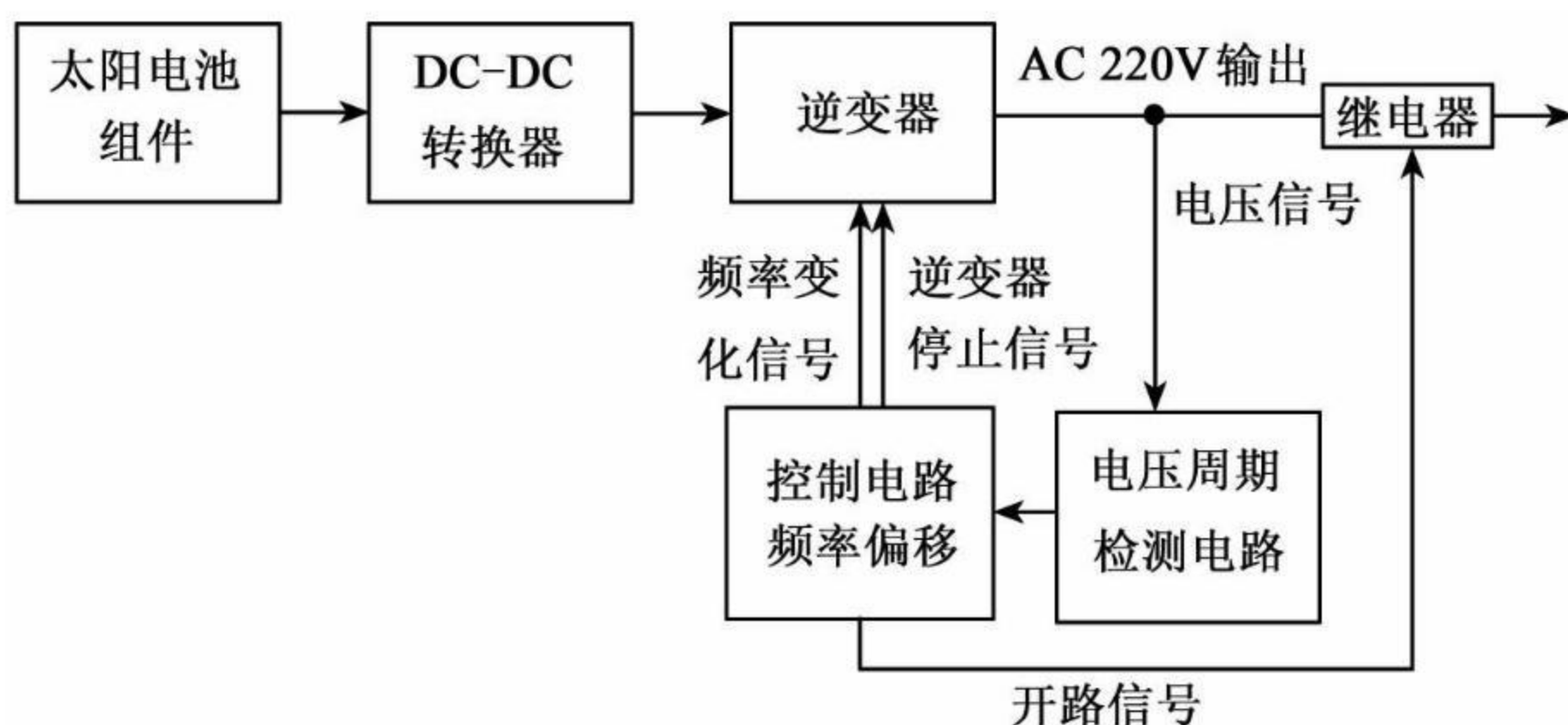


图 6.24 频率偏移方式

或检查而停止运行时，太阳能光伏系统处在单独运行发电，并仍在向电力系统输电的状态。二者是不同的。

自立运行系统一般分为无蓄电池的系统以及灾害时的避难场所使用的夜间、雨天可运行的有蓄电池的系统。电力系统停电时，太阳能光伏系统自动与电力系统分离的同时，将逆变器的控制方法由电流控制变为电压控制。

图 6.25 为带有蓄电池、并具有自立运行功能的太阳能光伏系统。配线用断路器 MCCB1 和电磁接触器 MC1 处于常闭状态，系统并网运行，电力系统向蓄电池充电。此时，由于电磁接触器 MC2 处于断开状态，因此与太阳电池处于分离状态。电力系统停电时，配线用断路器 MCCB1 断开，逆变器从电流控制变为电压控制，运行自动开始。如果将电磁接触器 MC2 闭合，则蓄电池也被启用同时为自立运行负载供电。

6.4.6 一种新型的太阳能发电用功率调节器

正如前面所说，功率调节器是一种将太阳电池的直流电能转换成交流电能的装置。近年来将交流的输出直接与商用电力系统并网的功率调节器正得到越来越多的应用。

如图 6.26 所示为一种新型的并网用功率调节器。它由升压式

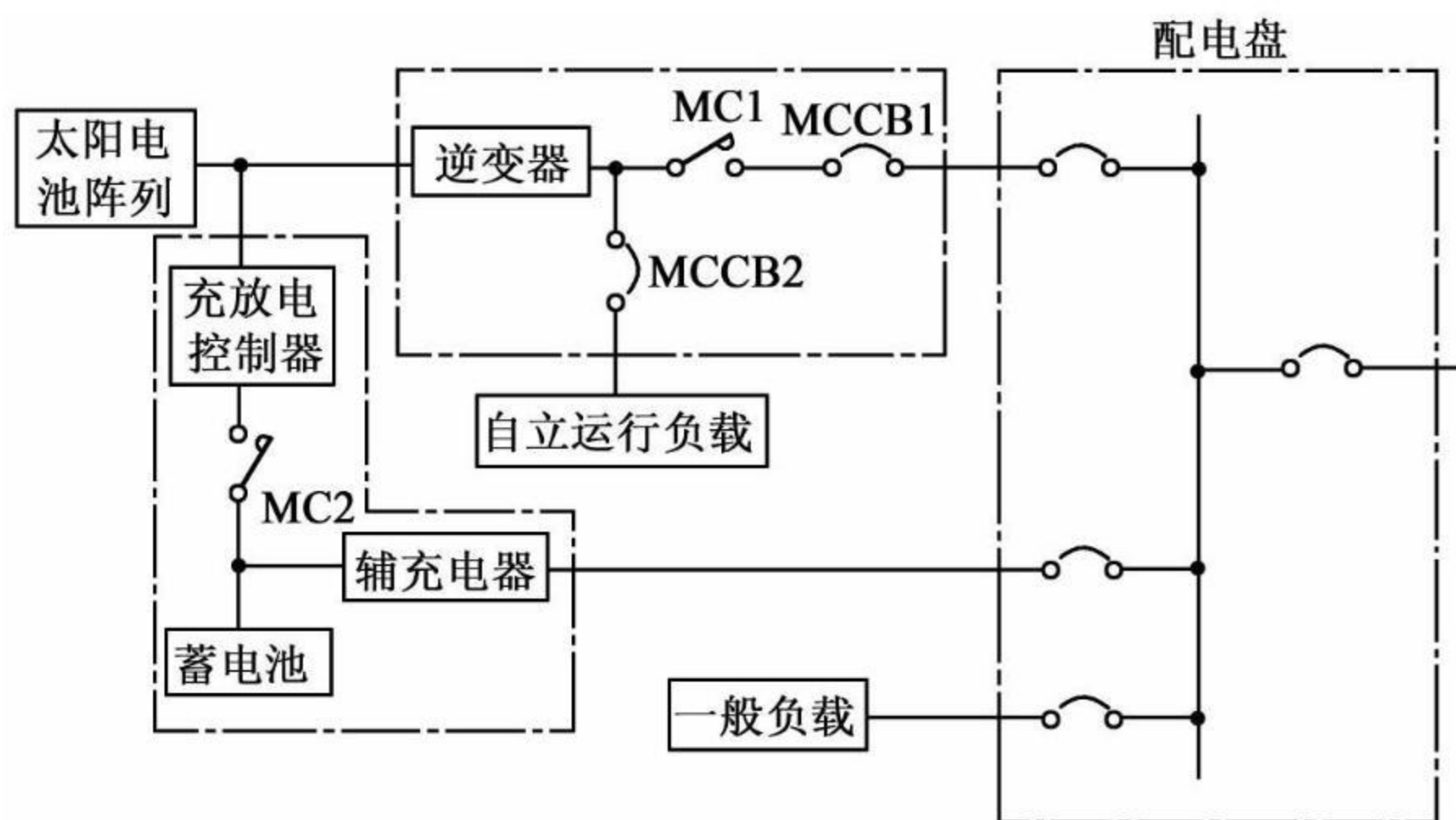


图 6.25 带有自立运行功能的太阳能光伏系统

斩波器电路、逆变桥式电路、并网开关、控制电路、系统并网保护电路以及断路器等组成。它具有系统并网保护功能以及太阳电池的出力控制等功能。当系统的电压、频率出现异常时，系统并网保护功能可以使发电停止，并使并网开关断开。

升压式斩波器电路将太阳电池的直流电压升至功率调节器的出力控制所必要的直流电压。逆变桥式电路是用来将升压的直流电压转换成工频交流电压的电路。升压斩波器电路以及逆变器桥式电路由 IGBT 等功率半导体元件构成。以 $10 \sim 20\text{kHz}$ 的频率对电压、电流进行采样。电路的输出波形为矩形脉冲波，采用 PWM 控制方法得到所需的输出电压。并网用电抗器用来降低逆变桥式电路输出的高频信号。并网开关是一种用来将逆变器的出力与商用电力系统相连接的开关。发电运行时开关闭合，而夜间、并网保护电路等异常被检出时则断开。

6.4.7 功率调节器的多功能化

一般地，产业用太阳能发电系统用逆变器中，除了具有并网发电功能外，逆变器还带有其他的一些功能。如充电功能、自立运行功能

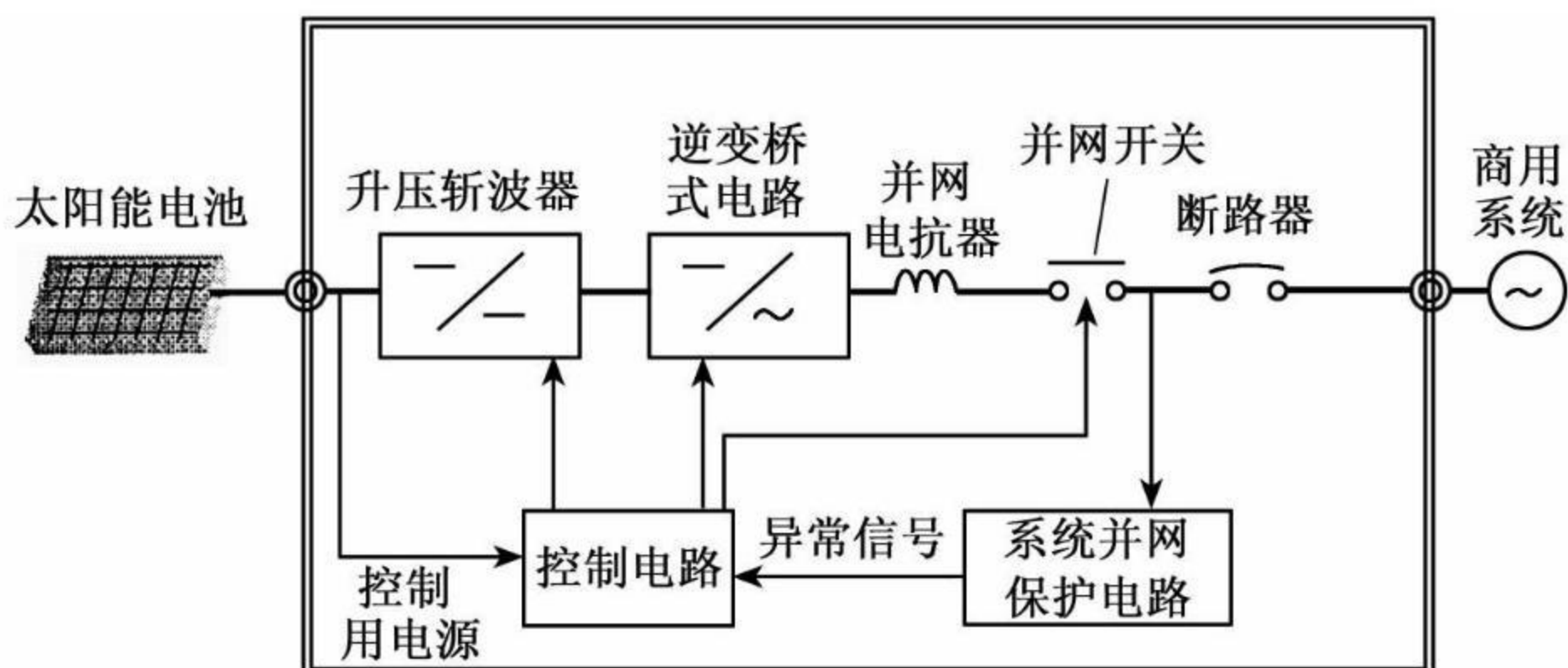


图 6.26 系统并网型太阳能发电用功率调节器

以及情报传输功能等。

带有充电功能的逆变器可以对斩波电路以及逆变器桥式电路进行双向控制,以实现从电力系统向直流侧供电,使蓄电池充电,为夜间可自立运行的防灾系统提供电源。

当太阳能发电系统与电力系统处于分离状态时,逆变器具有产生交流电压的功能,以便能够为紧急情况下的供水设备、供油设备等系统提供电源。

为了节约空间,逆变器一般做成可以放在太阳能电池台架上的户外结构。但是,为了在室内可以监视逆变器的运行状况,逆变器还有可将其输入、输出电压、电流以及功率等情报通过网络传输的功能。

6.5 其他设备

1. 阵列台架

台架具有将太阳能电池组件固定在屋顶的作用。现在一般采用先将台架固定在屋顶上,然后将太阳能电池组件固定在台架上的方法。台架的设置与屋顶面平行的平行型和与屋顶面保持一定角度的非平行型两种。如前所述,现在出现了不使用台架而采用将太阳能电池作为屋顶建材使用的屋顶一体型等方式。

2. 接线盒

图 6.27 为接线盒,主要由逆流防止二极管、直流开关(或保险丝)、端子台以及避雷装置等构成,它的作用有:

1) 接线盒具有将直流电送往逆变器的作用,用电缆将太阳电池组件的输出与接线盒内的逆流防止二极管、直流开关相连,然后与逆变器连接;

2) 检查时将电路分离,使操作更容易;

3) 太阳电池出现故障时,使停电范围限定在一定的范围之内;

4) 绝缘电阻测量、短路电流的定期检查。

直流开关用来开、闭来自太阳电池的电能,一般设有输入侧开关和输出侧开关。输入侧开关设置在太阳电池阵列侧,用来切断来自太阳电池的最大直流电流(太阳电池阵列的短路电流),一般使用配线用断路器。输出侧开关应满足太阳电池阵列的最大使用电压以及最大通过电流,具有开关最大通过电流的能力。与输入侧开关一样,一般使用配线用断路器。

避雷装置用来保护电气设备免遭雷击。在接线盒里,为了保护太阳电池阵列、逆变器,每个纵列组件都设有避雷装置,整个太阳电池阵列的输出端也设置了避雷装置。另外,对有可能遭受雷击的地方,对地间以及线间需设置避雷装置。

如前所述,逆流防止二极管起防止电流流向太阳电池的作用。接线盒有铁制、不锈钢制、室内用以及户外用等种类,但室外使用时应有防水、防锈的功能。

3. 住宅用分电盘

住宅用太阳能光伏系统一般通过住宅用分电盘与商用电力系统并网。太阳电池所产生的电能无论是在家庭内使用还是将剩余电能送往电力系统都必须通过分电盘。

4. 买电、卖电用电表

电表用来记录所使用的电量,有圆盘式和电子式。现在,一般家庭多使用圆盘式电表。太阳能光伏系统的剩余电力出售给电力系统时,应分别设置带有防逆转功能的卖电用电表和买电用的电表。如图 6.28 所示,卖电用(逆潮流用)电表一般安装在用户(电源侧)一

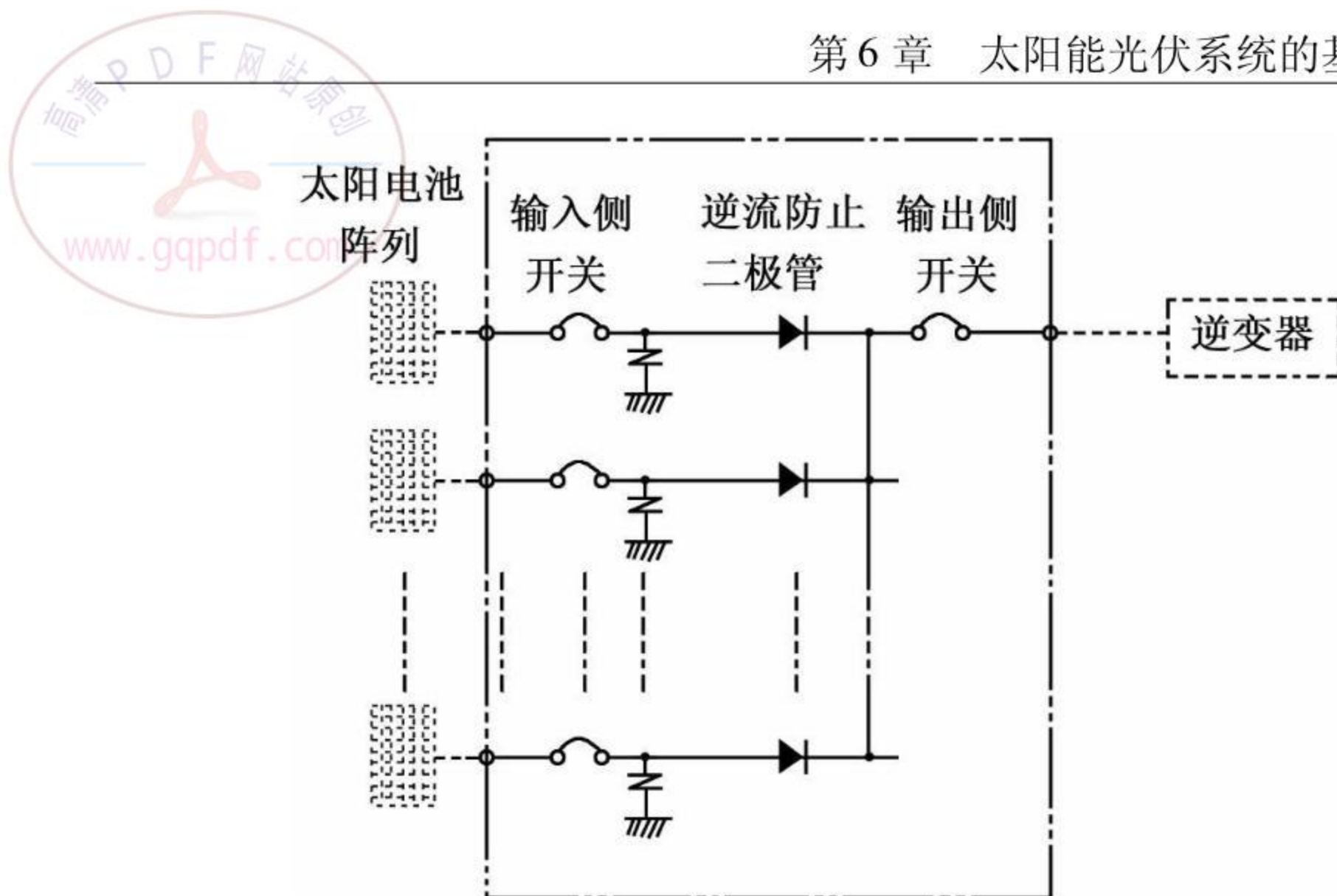


图 6.27 接线盒

侧。当然,如果买、卖电的价格相同,并且不存在其他问题,也可利用电表可逆旋转的原理,逆潮流时电表逆旋转使电量抵消,在这种情况下使用一台电表也可。

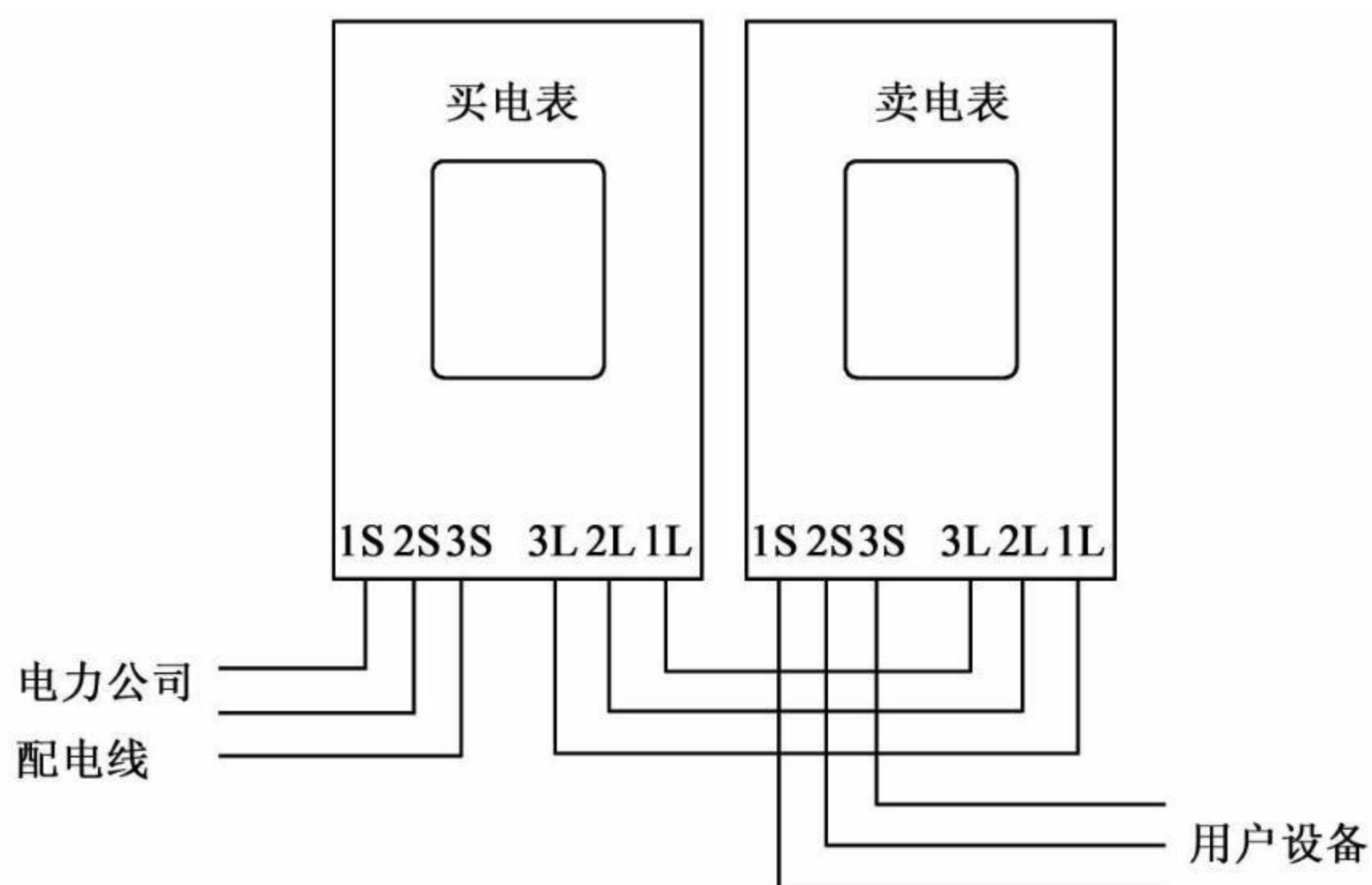


图 6.28 买、卖电表的连接方式

第7章 太阳能光伏系统的设计

本章主要论述太阳能光伏系统设计时应考虑的各种因素、设计步骤、设计理论、设计方法等,并用参数分析法以及计算机仿真法分别说明了独立型、住宅型太阳能光伏系统的设计方法,最后介绍了太阳能光伏系统的成本核算方法。

7.1 太阳能光伏系统设计的诸因素

太阳能光伏系统设计时,必须考虑诸多因素,进行各种调查,了解系统设置用途、负载情况,决定系统的型式、构成,选定设置场所、设置方式、阵列的容量、太阳电池的方位角、倾斜角(Tilt Angle)、可设置的面积、台架(Support Structure for PV Panel)型式以及布置方式等。

7.1.1 太阳能光伏系统设计时的调查

一般来说,太阳能光伏系统设计时应调查如下项目:

- 1) 太阳能光伏系统设计时,首先需要与用户商量,如发电出力、设置场所、经费预算、实施周期以及其他特殊条件;
- 2) 进行建筑物的调查,如建筑物的形状、结构、屋顶的构造、当地的条件(日照条件等)以及方位等;
- 3) 电气设备的调查,如电气方式、负荷容量、分电盘、用电合同的状况、设备的安装场所(逆变器、连接箱以及配线走向等);
- 4) 施工条件的调查,如搬运设备的道路、施工场所、材料安放场所以及周围的障碍物等。

下面将对太阳能光伏系统设置的用途、负载情况的调查,决定系统的型式、构成,选定设置场所、设置方式,对太阳电池的方位角、倾斜角、可设置的面积等密切相关的问题进行讨论。

7.1.2 太阳能光伏系统设置的用途、负载情况

1. 设置对象以及用途

首先,要明确在何处设置太阳能光伏系统,是在建筑物的屋顶上设置还是在地上、空地等处设置。其次,太阳电池产生的电力用在何处,即为何种负载等。

2. 负载的特性

要弄清楚负载是直流负载还是交流负载,是昼间负载还是夜间负载。一般来说,住宅、公共建筑物等处为交流负载,因此需要使用逆变器。由于太阳能光伏系统只能在白天有日光的条件下才能发电,因此可直接为昼间负载提供电力,但对夜间负载来说则要考虑装蓄电池。

3. 在负载大小已知的情况下,对独立系统来说,要针对负载的大小来设计相应的太阳能光伏系统的容量以满足负载的要求。

7.1.3 系统的类型、构成的选定

系统的类型、构成取决于系统使用的目的、负载的特点以及是否有备用电源等。对构成系统的各部分设备的容量进行设计时必须事先决定系统的类型,其次是负载的情况、太阳电池阵列的方位角、倾斜角、逆变器的种类等。

1. 系统类型的选定

系统型式根据是独立系统还是并网系统可以有多种类。独立型太阳能光伏系统根据负载的种类可分成直流负载直接型、直流负载蓄电池使用型、交流负载蓄电池使用型、直、交流负载蓄电池使用型等系统。并网系统也有多种类,如有潮流、无潮流并网系统,切换式系统,防灾系统等。

2. 系统装置的选定

系统装置的选定除了太阳能电池外,还包括功率调节器、接线盒等。对安装蓄电池的系统,还要选定蓄电池、充放电控制器等。

7.1.4 设置场所、设置方式的选定

太阳电池阵列的设置场所、设置方式较多,可分为建筑物上、地面上设置等。目前,一般在杆柱、屋顶、屋顶平台上以及地面上设置太阳电池阵列。可分成如下几种类型:

1) 杆上设置型

这种方式是将太阳能光伏系统设置在金属、混凝土以及木制的杆、塔上,如公园内的照明、交通指示灯的电源等。

2) 地上设置型

地上设置型分为平地设置以及斜面设置型。平地设置型是在地面上打好基础,然后将台架安装在该基础上。斜面设置型与平地设置型基本相同,只是地面或地基是倾斜的。

3) 屋顶设置型

屋顶设置型可分为整体型、直接型、架子型以及空隙型4种。整体型为与建筑物相结合进行设置的方式。直接型是指建材一体型以及将太阳能阵列与屋顶紧靠的设置方式。架子型是指在屋顶上设置的台架上设置太阳能阵列的方式。空隙型是指与屋顶的倾斜面一致,但在太阳能阵列与屋顶之间留有一定空隙的设置方式。

4) 高楼屋顶设置型

高楼屋顶设置型是指在高楼屋顶设置的台架上,设置太阳能光伏系统的方式。

5) 墙壁设置型

墙壁设置型分为建材一体型、壁面设置型以及窗上设置型。建材一体型是指利用太阳电池阵列具有发电与壁材的功能,二者兼顾的设置方式。壁面设置型是指在墙壁的壁面上设置太阳电池阵列的方式。窗上设置型是指太阳电池阵列除了具有发电的功能外,还作为窗材使用的方式。

7.1.5 太阳电池的方位角、倾斜角的选定

太阳电池阵列的布置、方位角、倾斜角的选定是太阳能光伏系统设计时最重要的因素之一。所谓方位角一般是指东西南北方向的角度,对于太阳能光伏系统来说,方位角以正南为 0° ,顺时针方向(西)取正(如 $+45^\circ$),逆时针方向(东)取负(如 -45°),倾斜角为水平面与太阳电池组件之间的夹角。倾斜角为 0° 时表示太阳电池组件为水平设置, 90° 则表示太阳电池组件为垂直设置。

1. 太阳电池的方位角的选择

一般来说,太阳电池的方位角取正南方向(0°),以使太阳电池的单位容量的发电量最大。如果受太阳电池设置场所,如屋顶、土地、山、建筑物的阴影等的限制时,则考虑与屋顶、土地、建筑物等的方位角一致,以避免山、建筑物等的阴影的影响。例如在已有的屋顶上设置时,为了有效地利用屋顶的面积应选择与屋顶的方位一致。如果旁边的建筑物或树木等的阴影有可能对太阳电池阵列产生影响时,则应极力避免,以适当的方位角设置。另外,为了满足昼间最大负载的需要,应将太阳电池阵列的设置方位角与昼间最大负载出现的时刻相对应进行设置。因此,太阳电池的方位角可以选择南向、屋顶或土地的方位角、避开建筑物或树木等阴影的角度以及昼间最大负载出现时的时角等。

2. 太阳电池的倾斜角的选定

最理想的倾斜角可以根据太阳电池年间发电量最大时的年间最大倾斜角来选择。但是,在已建好的屋顶设置时则可与屋顶的倾斜角相同。有积雪的地区,为了使积雪能自动滑落,倾斜角一般选择 $50^\circ \sim 60^\circ$ 。所以,太阳电池阵列的倾斜角可以选择年间最大倾斜角、屋顶的倾斜角以及使雪自动滑落的倾斜角等。

7.1.6 可设置的面积

设置太阳电池阵列时,要根据设置的规模、构造、设施方式等决定可设置的面积。可设置的面积受到条件的限制时,要考虑地点的

形状、所需的发电容量以及周围的环境等,对太阳电池阵列的配置、配列进行设计,使太阳能光伏系统的出力最大。

7.1.7 太阳电池阵列的设计

1. 太阳电池组件的选定

太阳电池组件的选定一般应根据太阳能光伏系统的规模、用途,外观等而定。太阳电池组件的种类较多,现在比较常用的是单晶硅、多晶硅以及非晶质硅太阳电池。

2. 太阳电池阵列容量的计算

3. 台架设计

台架设计时应考虑设置地点的状况、环境等因素。要考虑风压的作用力、固定载荷、积雪载荷(北方地区)以及地震载荷等。

7.2 太阳能光伏系统的设计步骤

太阳能光伏系统设计时应考虑设置场所的状况、方位、周围的情况进行调查,选定设置可能的场所,根据调查的结果选定太阳电池阵列的设置方式,算出设置可能的太阳电池组件的枚数,设计太阳能台架,选定控制器等系统设备。然后,根据设置可能的太阳电池组件数算出发电量,根据设计结果购买太阳电池组件以及其他设备,安装太阳电池组件并对其配线,安装工事结束后对各个部分进行检查,如不存在问题则可开始发电。

太阳能光伏系统设计时,一般采用如下的步骤:

- 1) 设想所需电力;
- 2) 确定屋顶的形状;
- 3) 确定可设置太阳电池组件的面积;
- 4) 决定所必要的太阳电池容量;
- 5) 算出太阳电池的面积;
- 6) 判断设置太阳电池组件的可能性;
- 7) 决定必要的组件枚数;

- 8) 决定逆变器的容量;
- 9) 确定逆变器等设置场所、分电盘的电路、配线走向等;
- 10) 设计与施工方案;
- 11) 试验运行。

7.3 太阳能光伏系统设计方法概要

由于太阳光能量变化的无规律性、负载功率的不确定性以及太阳电池特性的不稳定性等因素的影响,因此,太阳能光伏系统的设计比较复杂。

太阳能光伏系统的设计方法一般可分为解析法和计算机仿真法两种。解析法是根据系统的数学模型,并使用设计图表等进行设计,得出所需的设计值的方法。解析法可分为参数分析法以及 LOLP 法 (Loss of Load Probability) 两种方法。

参数分析法是一种将复杂的非线性太阳能光伏系统当做简单的线性系统来处理的方法。设计时可从负载与太阳光的入射量着手进行设计,也可以从太阳电池组件的设置可能面积着手进行设计。此方法不仅使用价值高,而且设计方法简单。

LOLP 法是一种用概率变量来描述系统的方法。由于系统的状态变量、系数等变化无规律可寻,直接处理起来不太容易,采用 LOLP 法可以较好地解决此问题。

计算机仿真法则是利用计算机对日射、不同类型的负载以及系统的状态进行动态计算,实时模拟实际系统的状态的方法。由于此方法可以秒、小时为单位对日射量与负载进行一年的计算,因此,可以准确地反映日射量与负载之间的关系,设计精确度较高。

上面列举了 3 种设计方法,一般常用参数分析法和计算机仿真法,这里着重介绍利用参数分析法和计算机仿真法进行系统设计的方法。

7.3.1 参数分析法

太阳能光伏系统设计时,一般采用根据负载消费量决定所需太阳电池容量的方法。但是太阳电池在安装时,往往会出现设置面积受到限制等问题,因此,应事先调查太阳电池可设置的面积,然后算出太阳电池的容量,最后进行系统的整体设计。

1. 阵列容量的计算

用参数分析法对系统进行设计时,要对阵列容量进行计算。一般分为两种情况:一种是负载已决定时的情况,另一种是阵列面积已决定时的情况。下面对这两种情况分别进行讨论。

1) 负载已决定时

根据负载消费量决定所需太阳电池容量时,一般使用如下公式进行计算:

$$P_{AS} = \frac{E_L DR}{(H_A/G_S) K} \quad (7.1)$$

式中, P_{AS} : 标准状态时太阳电池阵列的容量(kW);

标准状态: AM1.5, 日射强度 $1000\text{W}/\text{m}^2$, 太阳电池单元温度 25°C ;

H_A : 某期间得到的阵列表面的日射量($\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{期间})$);

G_S : 标准状态下的日射强度(kW/m^2);

E_L : 某期间负载消费量(需要量)($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{期间}$);

D : 负载对太阳能光伏系统的依存率($= 1 - \text{备用电源电能的依存率}$);

R : 设计余量系数,通常在 $1.1 \sim 1.2$ 的范围;

K : 综合设计系数(包括太阳电池组件出力波动的修正、电路损失、机器损失等)。

上式中的综合设计系数 K 包括直流修正系数 K_d 、温度修正系数 K_t 、逆变器转换效率 η 等。直流修正系数 K_d 用来修正太阳电池表面的污垢,太阳日射强度的变化引起的损失,以及太阳电池的特性差等, K_d 值一般为 0.8 左右。温度修正系数 K_t 用来修正因日射引起

的太阳电池的升温、转换效率变化等, K_i 值一般为 0.85 左右。逆变器转换效率 η 是指逆变器将太阳电池发出的直流电转换为交流电时的转换效率, 通常为 0.85 ~ 0.95。

对于住宅用太阳能光伏系统而言, 某期间负载消费量 E_L 可用两种方法加以概算: 第一种方法是根据使用的电气设备以及使用时间来计算, 另一种方法是根据电表的消费量进行推算。根据使用的电气设备以及使用时间计算负载的消费量时, 一般采用如下公式进行计算:

$$E_L = \sum (E_1 T_1 + E_2 T_2 + \cdots + E_n T_n) \quad (7.2)$$

这里, 负载消费量 E_L 一般以年为单位, 即用 E_L 表示年间总消费量, 并用单位 (kWh/年) 表示。 E_k ($k=1, 2, \cdots, n$) 为各电气设备的消费电量。 T_k ($k=1, 2, \cdots, n$) 为各电气设备的年使用时间。

某期间得到的阵列表面的日射量 H_A 与设置的场所 (如屋顶)、阵列的方向 (方位角) 以及倾斜角有关, 当然, 各月也不尽相同。太阳电池阵列面向正南时日射量最大, 太阳电池阵列倾斜角与设置地点的纬度相同时, 理论上的年间日射量最大。但实测结果表明, 倾斜角略小于纬度时日射量较大。

2) 阵列面积已决定时

设置太阳能光伏系统时, 有时会受到设置场所的限制, 即太阳电池阵列的设置面积会受到限制。系统设计时需要根据设置面积算出太阳电池的容量。如果已知设置地点的日射量 H_A , 标准太阳电池阵列的出力 P_{AS} 以及综合设计系数 K , 则可根据下式计算出太阳能光伏系统的日发电量:

$$E_p = H_A K P_{AS} \quad (7.3)$$

标准状态下的太阳电池阵列的转换效率可由下式表示:

$$\eta_s = \frac{P_{AS}}{G_s A} \times 100\% \quad (7.4)$$

式中, A 为太阳电池阵列的面积。

太阳电池单元、太阳电池组件的转换效率可用上式进行计算。一般简单地称为转换效率, 有时需要加以区别。这些转换效率之间

的关系是：太阳电池单元转换效率 > 太阳电池组件的转换效率 > 太阳电池阵列转换效率。

2. 太阳电池组件的总枚数

计算出必要的太阳电池容量(kW)之后,下一步则需决定太阳电池组件的总枚数以及串联的枚数(一系列的组件枚数)。组件的总枚数可以由必要的太阳电池容量计算得到,串联枚数可以根据必要的电压(V)算出。

太阳电池组件的总枚数由下式计算:

组件的总枚数 = 必要的太阳电池容量(W) ÷ 每枚组件的最大出力(W)

太阳电池组件的串联枚数由下式计算:

串联枚数 = 必要的电压 ÷ 每枚组件的最大输出电压(V)

根据太阳电池组件的总枚数以及串联组件的枚数则可计算出太阳电池组件的并联枚数,由下式计算:

并联枚数 = 组件的总枚数 ÷ 串联枚数

实际太阳电池组件使用枚数可以算出:

太阳电池组件使用枚数 = 串联枚数 × 并联枚数

3. 太阳电池阵列的年发电量的估算

所设计的太阳电池阵列的年发电量,可以由下式估算:

$$E_p = \frac{H_A K P_{AS}}{G_S} \quad (7.5)$$

式中, E_p : 年发电量(kWh);

P_{AS} : 标准状态时太阳电池阵列的容量(kW);

H_A : 年阵列表面的日射量(kW/(m²·年));

G_S : 标准状态下的日射强度(1kW/m²);

K : 综合设计系数。

4. 蓄电池容量的计算

太阳能光伏系统设计时,根据负载的情况有时需要装蓄电池。蓄电池容量的选择要根据负载的情况、日射强度等进行。下面介绍向较稳定的负载供电的系统以及根据日射强度来控制负载容量的系统的蓄电池容量的设计方法。

1) 向较稳定的负载供电的系统

负载的用电量不太集中时,可用下式决定蓄电池容量:

$$B_c = E_L N_d R_b / (C_{bd} U_b \delta_{bv}) \quad (7.6)$$

式中, B_c : 蓄电池容量 ($\text{kW} \cdot \text{h}$);

E_L : 负载每日的需要电量 ($\text{kW} \cdot \text{h/d}$);

N_d : 无日照连续日数 (d);

R_b : 蓄电池的设计余量系数;

C_{bd} : 容量低减系数;

U_b : 蓄电池可利用放电范围;

δ_{bv} : 蓄电池放电时的电压低下率。

以上 C_{bd} 、 U_b 、 δ_{bv} 可以由蓄电池的技术资料得到。

2) 根据日射强度来控制负载容量的系统

无论是雨天还是夜间,当需要向负载提供最低电力时,必须考虑无日照的连续期间向最低负载提供电力的蓄电池容量。在这种情况下,一般采用下式进行计算:

$$B_c = E_{LE} - P_{AS} (H_{Al} / G_S K) N_d R_b / (C_{bd} U_b \delta_{bv}) \quad (7.7)$$

式中, E_{LE} : 负载所需的最低电量 ($\text{kW} \cdot \text{h/d}$);

H_{Al} : 无日照的连续日数期间所得到的平均阵列面日射量 ($\text{kW} \cdot \text{h/d}$)。

5. 逆变器容量的计算

对于独立系统来说,逆变器容量一般用下式进行计算:

$$P_{in} = P_m R_e R_{in} \quad (7.8)$$

式中, P_{in} : 逆变器容量 ($\text{kV} \cdot \text{A}$);

P_m : 负荷的最大容量;

R_e : 突流率;

R_{in} : 设计余量系数(一般取 1.5 ~ 2.0)。

对于并网系统来说,逆变器在负载率较低的情况下工作时效率较低。另外,逆变器的容量较大时价格也高,应尽量避免使用大容量的逆变器。选择逆变器的容量时,应使其小于太阳电池阵列的容量,即 $P_{in} = P_{AS} C_n$, 这里 C_n 为低减率,一般取 0.8 ~ 0.9。

7.3.2 计算机仿真法

计算机仿真法主要用来对太阳能光伏系统进行最优设计以及确定运行模式。仿真时通常以一年为对象,利用日射量、温度、风速以及负载等数据进行 8 760 小时的连续计算。决定太阳能光伏系统的太阳电池阵列容量、蓄电池容量、负载的非线性电压电流特性以及运行工作点等。

1. 各部分的数学模型

1) 太阳电池阵列

对太阳电池阵列进行数学仿真时一般使用下列数学模型:

$$I = I_{ph} - I_0 [\exp(q(V + R_s I)/nkT) - 1] - (V + R_s I)/R_{sh} \quad (7.9)$$

式中, I : 太阳电池单元输出电流;

V : 太阳电池单元输出电压;

I_{ph} : 光激励电流;

I_0 : 二极管饱和电流;

q : 电子的电荷;

R_s : 内部串联电阻;

n : 二极管因子;

k : 波耳兹曼常数;

T : 太阳电池单元温度(K);

R_{sh} : 并联电阻。

通常,对单晶硅、多晶硅的太阳电池来说, R_{sh} 可忽略不计。太阳电池的等价电路如图 7.1 所示它由流过与太阳光的强度成正比的电流的电流源、二极管并联电阻、串联电阻构成。

由于太阳电池的输出随温度上升而下降,因此需要对太阳电池的输出进行温度修正。常见的有两种方法,一种是使用温度修正系数的方法来修正,另一种是使用二极管的温度特性来修正的方法。因为理想二极管的温度特性在很大程度上依赖于饱和电流 I_0 的温度特性,因此一般用二极管的温度特性的方法来加以修正。饱和电流的温度特性如下式所示:



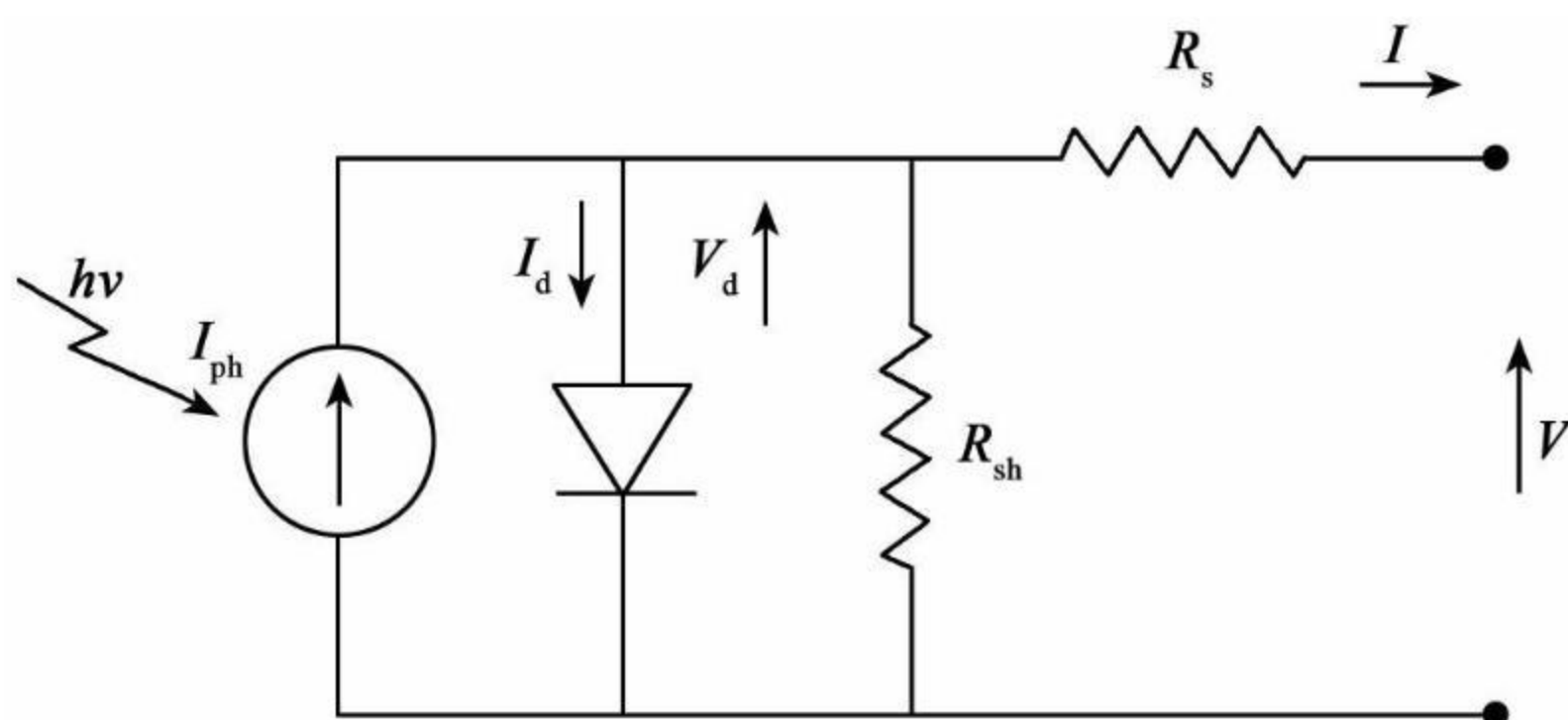


图 7.1 太阳电池的等价电路

$$I_0 = C_1 T^3 \exp(-E_{g0}/kT) \quad (7.10)$$

式中, C_1 : 常数;

E_{g0} : 绝对零度时禁止带的宽度。

太阳电池的温度受气象条件的影响, 与标准状态下的输出特性不同。太阳电池的温度一般高于气温, 受日射、风等因素的影响。日光照射时温度上升, 有风时温度则下降。因此需要考虑太阳电池组件的构造、阵列的设置方法等, 并根据技术资料或试验数据对太阳电池阵列的温度上升加以修正。

2) 铅蓄电池

太阳能光伏系统中常用铅蓄电池存储电能, 这里以铅蓄电池为例说明其数学模型。铅蓄电池的等价电路如图 7.2 所示, 由铅蓄电池的输出电压源与串联电阻组成, 其数学表达式如下:

$$V_b = E_b - I_b R_{sb} \quad (7.11)$$

这里, V_b : 铅蓄电池单元的端电压;

E_b : 铅蓄电池单元的电压;

I_b : 铅蓄电池单元的充放电电流;

R_{sb} : 铅蓄电池单元的内阻。

蓄电池一般由 N_{bs} 个蓄电池串联, N_{bp} 个蓄电池并联构成铅蓄电池系统。因此, 蓄电池的端子电压为 $V_B = V_b N_{bs}$, 端子电流为 $I_B =$

$I_b N_{bp}$, 所使用的蓄电池的数量可由 N_{bs} 与 N_{bp} 的乘积得到。

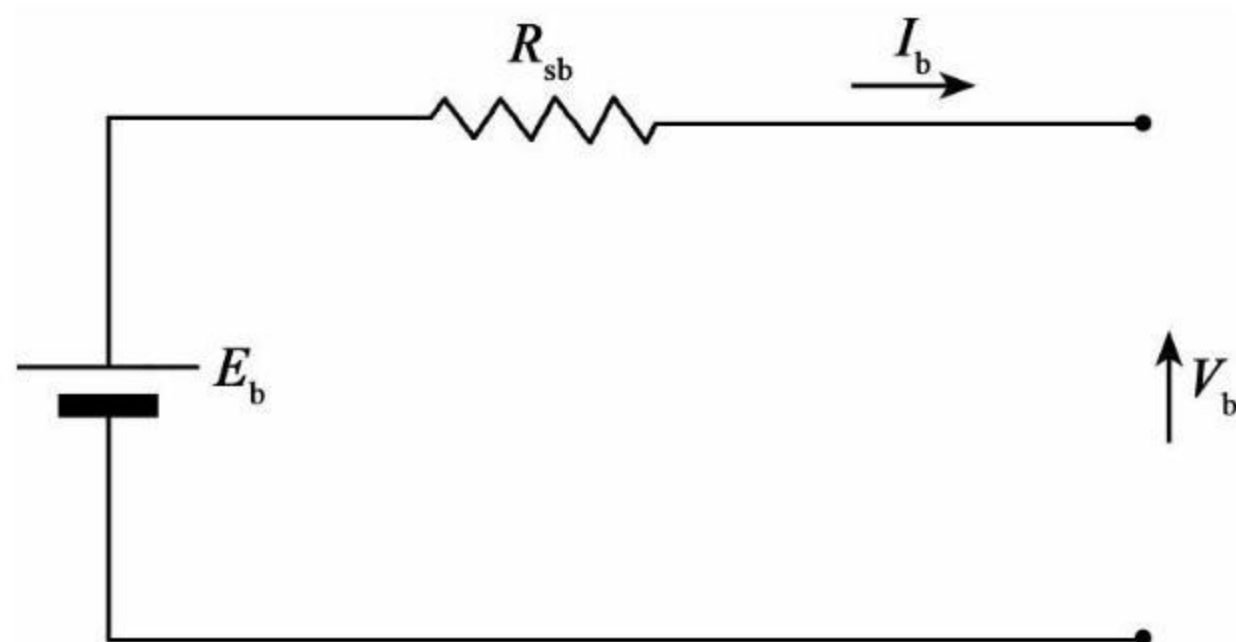


图 7.2 铅蓄电池的等价电路

3) 逆变器

逆变器的数学模型需要考虑无负载损失, 输入电流损失以及输出电流损失等因素, 其数学表达式如下:

$$I_o = P_i \eta / (V_o \phi) \quad (7.12)$$

$$P_o = P_i - L_o - R_i I_i^2 - R_o I_o^2 \quad (7.13)$$

$$I_i = P_i / V_i \quad (7.14)$$

$$\eta = P_o / P_i \quad (7.15)$$

$$P_o = V_o I_o \quad (7.16)$$

式中, V_i : 逆变器的输入电压;

I_i : 逆变器的输入电流;

P_i : 逆变器的输入功率;

V_o : 逆变器的输出电压;

I_o : 逆变器的输出电流;

P_o : 逆变器的输出功率;

ϕ : 功率因素;

η : 逆变器效率;

L_o : 逆变器无负载损失;

R_i : 逆变器等价输入电阻;

R_o : 逆变器等价输出电阻。

无负载损失与负载无关,为一常数。电流损失一般可分为输入侧与输出侧来加以考虑。另外,如果逆变器具有最大输出跟踪控制功能时,由于逆变器的输入电压与阵列的最大输出点的动作电压一致,因此逆变器可以在保持最大输出点的状态下工作。此时,逆变器的输入电流与阵列的最大输出点的动作电流一致。

实际上,逆变器由于受跟踪响应与日射变动等因素影响,对最佳工作点的跟踪并非理想,一般会偏离最大功率点。因此,计算机仿真时以秒为单位进行仿真,可使计算结果更加精确。

2. 计算机仿真用标准气象数据

计算机仿真时需要使用太阳能光伏系统设置地点的标准气象数据,如户外温度、直达日射量、风向、风速、云量等。根据负载的要求、标准气象数据以及阵列的面积可以算出阵列的出力、蓄电池容量、逆变器的大小等。

7.4 独立型太阳能光伏系统的设计

独立型太阳能光伏系统的设计步骤没有统一的格式,要根据已知条件,如太阳电池设置可能的面积、负载的情况、所选定的系统等来决定其设计方法。这里采用了几种不同设计方法来对几种不同的系统进行设计。一般地,独立型太阳能光伏系统采用以下步骤设计:

- 1) 设置场所的状况、数据、负载的决定;
- 2) 电器设备的消费电流的决定;
- 3) 太阳电池一日所需发电电流量的决定;
- 4) 太阳电池最大输出电压的计算;
- 5) 太阳电池的选定(太阳电池组件、容量、种类等);
- 6) 太阳电池的并联、串联的连接方法;
- 7) 蓄电池的容量计算;
- 8) 蓄电池的选定;
- 9) 充放电控制器的选定;
- 10) 逆变器的选定;

11) 逆流防止二极管的选定。

7.4.1 使用参数分析法设计独立型太阳能光伏系统

使用参数分析法对独立型太阳能光伏系统进行设计时,首先必须根据负载的消费功率、用途等决定系统的构成。独立型太阳能光伏系统根据负载的种类、是否使用蓄电池、逆变器可分为以下几种:直流负载直接型、直流负载蓄电池使用型、交流负载蓄电池使用型、直、交流负载蓄电池使用型等。系统图请参阅第6章,下面分别介绍这些系统的设计方法。

独立型太阳能光伏系统设计时,首先要弄清太阳电池使用场所的日射条件、电气设备的使用条件等,然后根据所使用的电器的消费功率决定太阳电池的容量。如果使用蓄电池,还必须决定蓄电池的容量。

1. 直流负载直接型系统的设计

对于直流负载直接型系统,根据所使用的电器的电气特性,选择的太阳电池的容量会有很大的差异。由于该系统不用蓄电池,一般来说,太阳电池的容量为使用电器设备的容量的2倍左右。

2. 直流负载蓄电池使用型系统的设计

对于直流负载蓄电池使用型系统以及交流负载蓄电池使用型系统,太阳电池容量的计算方法如下:

图7.3中的一日必要的电流量 I_L 以及必要的太阳电池的电流 I_S ,可分别由下式计算:

一日必要的电流量:

$$I_L = I \times T (\text{A} \cdot \text{h/d}) \quad (7.17)$$

必要的太阳电池的电流

$$I_S = I_L / (0.6 \times (3 \sim 4) \times 0.8) \quad (7.18)$$

蓄电池容量的计算方法如图7.4所示,其中,蓄电池容量由下式进行计算:

$$C = I_L \times (3 \sim 4) / (0.75 \times (0.5 \sim 0.7) \times 0.8) \quad (7.19)$$

下面举例说明实际系统的设计方法。这里假定直流负载为荧光

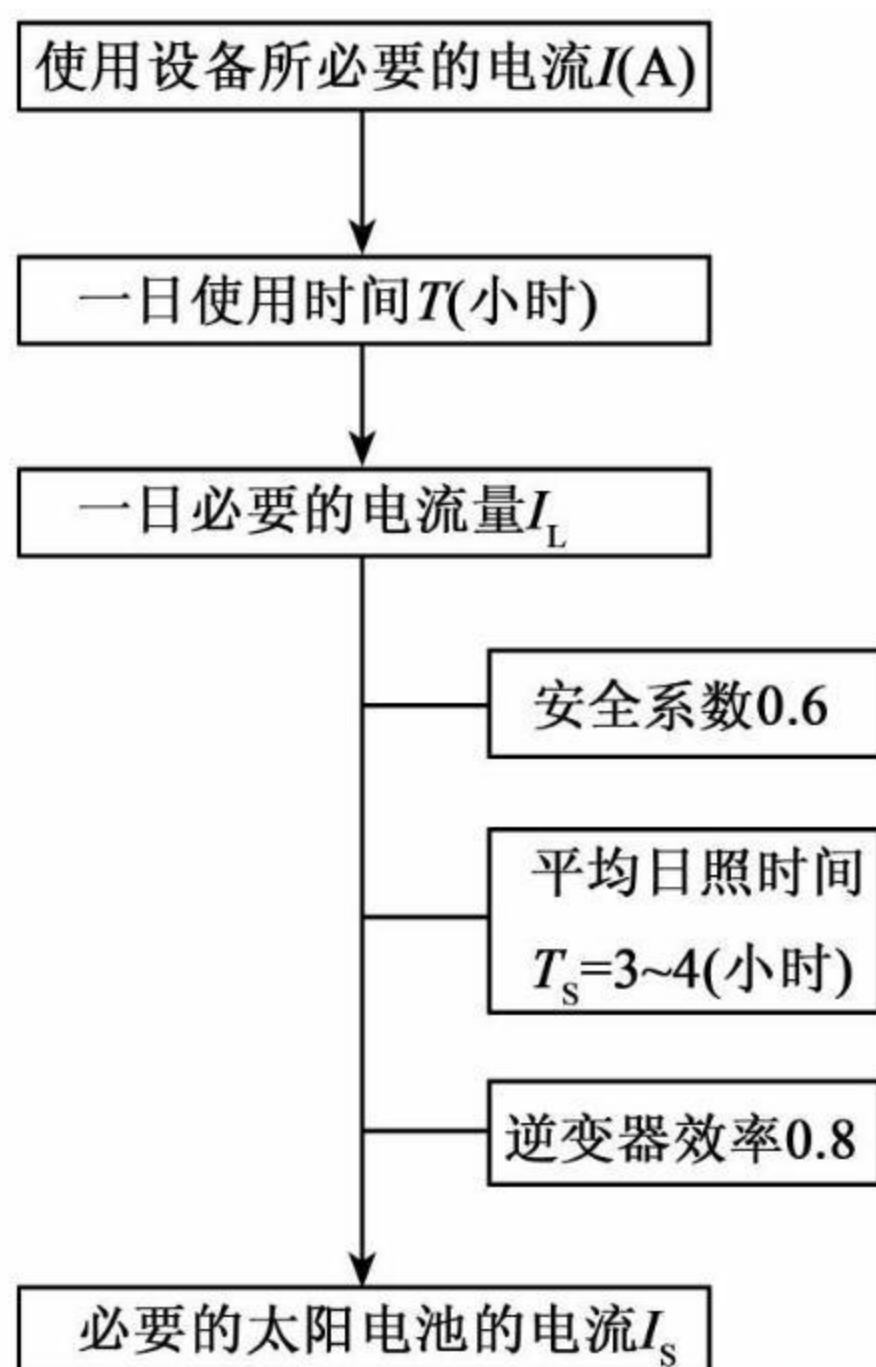


图 7.3 太阳电池容量的计算方法

灯,电压为 12V,功率为 4W。荧光灯作为庭园灯使用,每天夜间使用 5 小时。设计方法如图 7.3 所示。

1) 系统的构成

由于太阳电池只需向荧光灯供电,而且为直流负载,因此不需要逆变器,考虑采用直流负载蓄电池使用型系统。

2) 太阳电池容量的计算

在已知负载的消费功率的前提下,需要根据负载的消费功率决定太阳电池的容量。

电器所必需的电流:

$$I = 4 \text{ (W)} / 12 \text{ (V)} = 0.34 \text{ (A)}$$

一日所必要的电流量:

$$I_L = 0.34 \text{ (A)} \times 5 \text{ (h)} = 1.7 \text{ (A} \cdot \text{h)}$$

选择太阳电池容量时,选平均日射时间为 3 小时,必要的太阳电

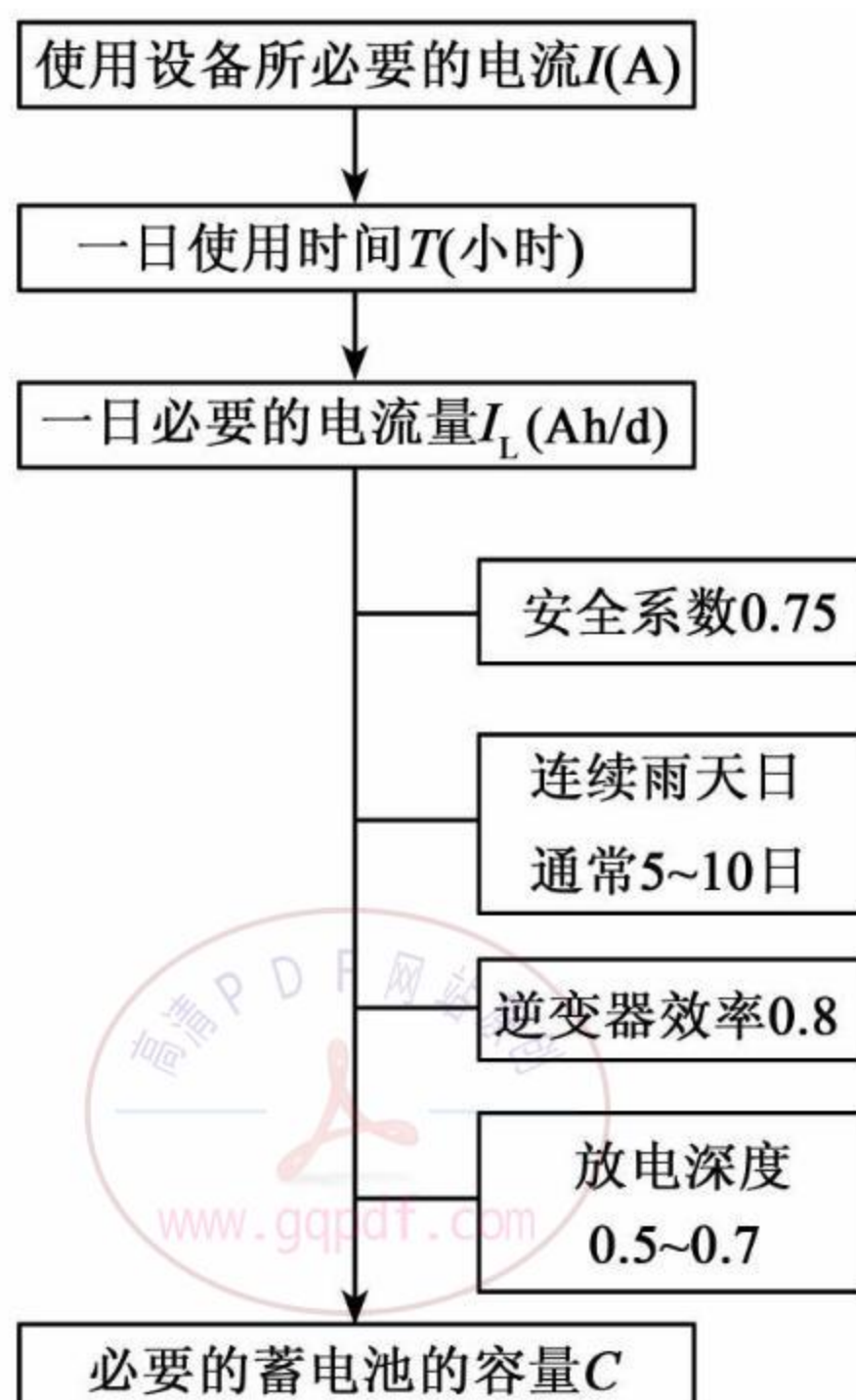


图 7.4 蓄电池容量的计算方法

池的电流 I_s 为:

$$I_s = 1.7 (\text{A} \cdot \text{h}) / (0.6 \times 3) = 0.94 (\text{A} \cdot \text{h})$$

可见,选择动作电压为 15V, $I_s = 0.95 (\text{A})$ 的太阳电池较为合适。

3) 蓄电池容量的计算

由前面的计算可知, $I_L = 1.7 (\text{A} \cdot \text{h})$, 连续雨天日为 7 日, 由于蓄电池每天重复充放电, 因此放电深度取 0.5, 蓄电池容量为:

$$C = 1.7 (\text{A} \cdot \text{h}) \times 7 / (0.75 \times 0.5) = 31.7 (\text{A} \cdot \text{h})$$

选 32A·h 的蓄电池即可。由于系统未使用逆变器, 因此以上的计算中省去了逆变器效率, 将逆变器效率当做 1 处理。

3. 交流负载蓄电池使用型系统的设计

由于一般的家用电器为交流负载, 因此必须将直流电转换成交流电, 这就需要使用逆变器。因此, 在计算太阳电池容量以及蓄电池

容量时,必须考虑逆变器的问题,计算方法见图 7.3、图 7.4。这里以收录机、电视机为例说明设计方法。

使用电器:收录机(AC220V、50Hz、10W)、电视机(AC220V、50Hz、60W),总功率为 70W。每日使用时间:收录机为 1 小时,电视机为 4 小时。

1) 系统的构成

由于负载为交流负载,所以采用交流负载蓄电池使用型系统。

2) 太阳电池容量的计算

由于使用 12V 的蓄电池,因此,录音机、电视机的消费电流分别为:

收录机的消费电流为: $I_R = 10 \text{ (W)} / 12 \text{ (V)} = 0.84 \text{ (A)}$

电视机的消费电流为:

$$I_{TL} = 60 \text{ (W)} / 12 \text{ (V)} = 5 \text{ (A)}$$

一日所必要的电流量:

收录机:

$$I_{RT} = 0.84 \text{ (A)} \times 1 = 0.84 \text{ (A} \cdot \text{h)}$$

电视机:

$$I_{TL} = 5 \text{ (A)} \times 4 = 20 \text{ (A} \cdot \text{h)}$$

总的消费电流量:

$$0.84 \text{ (A} \cdot \text{h)} + 20 \text{ (A} \cdot \text{h)} = 20.84 \text{ (A} \cdot \text{h)}$$

平均日射时间为 3 小时,则 I_s 为

$$I_s = 20.84 \text{ (A} \cdot \text{h)} / (0.6 \times 3 \times 0.8) = 14.5 \text{ (A)}$$

可以选择动作电压 15V, $I_{op} = 1.2 \text{ (A)}$ 的太阳电池 12 枚,其输出功率为 216W。

3) 蓄电池容量的计算

由前面的计算可知,一日所必要的电流量为 20.84A·h,连续雨天日为 7 日,由于蓄电池每天重复充放电,因此放电深度取 0.5,蓄电池容量为:

$$C = 20.84 \text{ (A} \cdot \text{h)} \times 7 / (0.75 \times 0.5 \times 0.8) = 487 \text{ (A} \cdot \text{h)}$$

选 500A·h 的蓄电池即可。

4) 逆变器

前面说过逆变器是一种将直流电转换成交流电的装置。对于本设计系统来说,要将 12V 的直流电变成 220V 的交流电。由于录音机与电视机的消费功率为 70W,因此必须选择 70W 以上容量的逆变器。逆变器的容量一般用单位 (V · A) 来表示,其容量通常取消费功率的 1.5 倍左右。

根据以上计算,太阳电池的输出功率为 216W_p,电压为 15V,太阳电池 12 枚;蓄电池的电压为 12V,容量为 500A · h;逆变器的输入电压为 12V,输出电压为 220/50Hz,容量为 330V · A。

4. 直、交流负载蓄电池使用型系统的设计

为了说明直、交流负载蓄电池使用型系统的设计方法,这里假定直流负载为 12V/36W 的电灯、一日使用时间为 2 小时;交流负载为 220V/24W 的计算机,一日使用时间为 3 小时。考虑到雨天、夜间使用的需要,假定蓄电池存储的电力能满足使用 5 天的需要。根据以上要求可选择直、交流负载蓄电池使用型系统。下面说明直、交流负载蓄电池使用型的太阳能光伏系统的设计方法。

1) 电器的消费电流的决定

电器的消费功率、额定电压已知时,电器的消费电流可由下式确定:

$$\text{消费电流} = \text{消费功率} / \text{额定电压} \quad (7.20)$$

对于直流 12V/36W 的电灯来说,电灯的消费电流 = $36\text{W} / 12\text{V} = 3\text{A}$ 。

由于计算机为交流负载,因此应计算出交流消费电流,然后换算成直流消费电流。计算机的交流消费电流 = $24\text{W} / 220\text{V} = 0.11\text{A}$;

$$\text{直流消费电流} = 24(\text{W}) / 12(\text{V}) = 2(\text{A})。$$

2) 太阳电池一日所需发电电流量的决定

由于太阳电池的设置条件与气象、污染状况等有关,并非一直处在最佳的发电状况,因此需要对太阳电池的出力进行修正。一般用下式计算太阳电池一日所需发电电流量:

$$\begin{aligned} \text{太阳电池一日的必要发电电流 (A} \cdot \text{h/d)} &= \frac{\text{一日的消费电流 (A} \cdot \text{h/d)}}{\text{出力修正系数} \times \text{蓄电池充放电损失修正系数} \times \text{其他修正系数}} \\ &\quad (7.21) \end{aligned}$$

式中,出力修正系数与气象条件、电池板的污染状况、老化等有关,一般取 0.85;蓄电池的充放电损失系数与蓄电池的充放电效率有关,一般取 0.95;其他的修正系数与逆变器的转换效率、损失有关,详见使用说明书。

太阳电池一日所需发电电流被确定之后,则需要根据太阳电池设置地区的平均日照时间决定太阳电池的必要电流。太阳电池的必要电流根据下式确定:

$$\begin{aligned} \text{太阳电池必要电流 (A)} &= \frac{\text{太阳电池一日的必要发电电流 (A} \cdot \text{h/d)}}{\text{一日平均日照时间 (h)}} \\ &\quad (7.22) \end{aligned}$$

平均日照时间一般根据一年的日照时间来决定,太阳电池所使用的地区不同则平均日照时间也不同。对于一般的地区来说,将日射量换算成 $1\,000\text{W/m}^2$ 时,平均日照时间为 2.6 ~ 4 小时。这里以平均日照时间为 3.3 小时为例。

由于所使用的电灯为直流电器,式中的其他修正系数可取 1;而计算机为交流负载,需要通过逆变器将太阳电池的直流电转换成交流电。这里假定逆变器的转换效率为 80%,需要说明的是逆变器的转换效率与制造厂家、产品有关,请参阅厂家的产品说明书。

太阳电池一日所需发电电流的计算如下:

$$\begin{aligned} \text{太阳电池一日的必要发电电流 (A} \cdot \text{h/d)} &= \frac{3\text{ (A)} \times 2\text{ (h)}}{0.85 \times 0.95 \times 1} + \frac{2\text{ (A)} \times 3\text{ (h)}}{0.85 \times 0.95 \times 0.8} \\ &= 16.7\text{ (A} \cdot \text{h/d)} \end{aligned}$$

太阳电池的必要电流计算如下:

$$\text{太阳电池必要电流 (A)} = \frac{16.7\text{ (A} \cdot \text{h/d)}}{3.3\text{ (h/d)}} = 5.06\text{ (A)}$$

将太阳电池与太阳的光线成直角设置时,太阳电池的出力最大。太阳电池的设置角度一般选择一年之中发电效率最高的南向与水平

面的角度,设置场所应选择一年中日照时间最短日(冬至前后)的日中(上午9点到下午3点),太阳电池无阴影的地方。如果条件允许可以设置能够根据冬、夏调整太阳电池角度的台架,使太阳电池的出力增加。

3) 太阳电池的最大出力电压的计算

太阳电池的最大出力电压可根据下式进行计算。二极管的作用在于当太阳电池不发电时,防止蓄电池的电流流向太阳电池。

太阳电池的最大出力电压 = 蓄电池的公称电压 \times 满充电系数 + 二极管电压降 (7.23)

这里使用铅蓄电池,其公称电压为12V,满充电系数为1.24,使用硅整流二极管,其电压降为0.7V,太阳电池的最大出力电压的计算如下:

太阳电池的最大出力电压 = $12 \times 1.24 + 0.7 = 15.58$ (V)

4) 太阳电池的选定

太阳电池的必要电流以及最大电压决定之后,可参考太阳电池的规格选择适当的太阳电池。由于太阳电池的出力受光的强度的影响会发生大的变化,另外,太阳电池的出力也受其设置场所的方位、角度的影响,有时难以得到足够的电能,因此,在选择太阳电池时必须考虑这些因素并留有余地。

5) 太阳电池并联、串联的连接方法

一枚太阳电池往往难以满足实际负载的需要,因此必须将数枚太阳电池并联或串联连接,以满足电压、电流以及功率的需要。数枚太阳电池并联或串联使用时,应尽量使用同一规格的太阳电池。因为不同规格的数枚太阳电池并联或串联使用时,由于相互出现电压不等现象,有时难以充分发挥太阳电池的功能。

串联连接是将同一规格的各太阳电池的正极与负极分别连接的方法。这种连接方法可使输出电压增加,但输出电流保持不变。

如某太阳电池厂家制造的太阳电池的规格为:

最大出力:50 (W)

最大输出电压:15.9 (V)

最大输出电流:3.15 (A)

2 枚太阳能电池串联时:

最大出力:100 (W) ($50\text{W} \times 2$)

最大输出电压:31.8 (V) ($15.9\text{V} \times 2$)

最大输出电流:3.15 (A) (不变)

并联连接是将同一规格的数枚太阳能电池的正极全部相连、然后将负极全部相连,使输出电流增加,而输出电压不变连接方法。

同样,如果太阳能电池的规格如上,2 枚太阳能电池并联连接时:

最大出力:100 (W) ($50\text{W} \times 2$)

最大输出电压:15.9 (V) (不变)

最大输出电流:6.3 (A) ($3.15\text{A} \times 2$)

由此可知,将两枚太阳能电池并联使用时,可以满足前面算出的太阳能电池的必要电流 5.06A,最大输出动作电压 15.58V 以上的需要。

6) 蓄电池的容量计算

计算蓄电池容量时,需要考虑蓄电池充放电损失,如发热损失。蓄电池保守率用来对蓄电池充放电时的损失进行修正。保守率一般为 0.8 左右。蓄电池的容量由下式计算:

$$\text{蓄电池的容量 (A} \cdot \text{h)} = \frac{\text{一日的消费电流量 (A} \cdot \text{h/d)} \times \text{连续无日射保障日数 (d)}}{\text{蓄电池保守率}} \quad (7.24)$$

代入以上的数据,可计算出蓄电池的容量。

$$\text{蓄电池的容量 (A} \cdot \text{h)} = \frac{16.7 (\text{A} \cdot \text{h/d}) \times 5 (\text{d})}{0.8} = 104 (\text{A} \cdot \text{h})$$

7) 蓄电池的选定

太阳能电池与蓄电池一起使用时,必须对蓄电池进行合理的选择并对其进行维护。选择蓄电池时必须考虑负载容量、蓄电池的放电深度、设置环境、价格成本以及使用寿命等因素。另外,由于系统长时间处于停止状态时,蓄电池会出现过充电,过多地消费蓄电池的电解液,从而导致蓄电池破损。因此,系统经常使用对蓄电池有利。

蓄电池的种类较多,目前铅蓄电池以及碱蓄电池用得较广。一

般地说,铅蓄电池容量大、价格较便宜,但重量较重,期待寿命一般在3~15年。而碱蓄电池寿命长、一般为12~20年,大电流放电特性较好、重量较轻,但价格较高。太阳能光伏系统一般使用容量较大、价格比较便宜的铅蓄电池。

8) 充放电控制器的选定

充放电控制器由逆流防止二极管、夜间继电器、温度修正装置等构成。逆流防止二极管用来防止蓄电池的电流流向太阳电池。夜间继电器的作用是根据照度传感器以及太阳电池的输出电压判断出日没,然后将蓄电池与负载连接。温度修正装置具有检测出蓄电池的温度,然后对充电电压进行修正的功能。

充放电控制器的选择与太阳电池输入电流、负载电流有关,设计时要留有一定的余地,一般用保守率来表示,保守率一般取0.85。蓄电池输入电流、负载电流分别由下式计算:

$$\text{蓄电池的输入电流 (A)} = \frac{\text{太阳电池的短路电流 (A)}}{\text{保守率}} \quad (7.25)$$

$$\text{负载电流 (A)} = \frac{\text{直流电器的最大出力 (W)}}{\text{系统电压 (V)} \times \text{保守率}} \quad (7.26)$$

将有关数据代入上式,可以计算出蓄电池输入电流、负载电流:

$$\text{蓄电池的输入电流 (A)} = \frac{6.9 \text{ (A)}}{0.85} = 8.12 \text{ (A)}$$

$$\text{负载电流 (A)} = \frac{36 \text{ (W)}}{12 \text{ (V)} \times 0.85} = 3.5 \text{ (A)}$$

充放电控制器的最大输入电压必须大于太阳电池的开放电压(这里为19.8V),以防止充放电控制器受到损坏。

9) 逆变器的选定

逆变器是一种将直流电转换成交流电的装置。根据转换的原理可分为正弦波形、模拟正弦波形以及矩形波形等种类。正弦波逆变器与一般家庭所供给的商用电源的电压波形相同。模拟正弦波逆变器转换效率较高、体积小、轻便,但价格较高。矩形波逆变器较便宜,但有运转噪音。

选定逆变器时,需要计算出逆变器的输入、输出电流。这里假定

所使用的逆变器的效率为 90%，逆变器的输入、输出电流可由下式计算。必须注意逆变器的输入电流与输出电流是不同的，见图 7.5 所示。

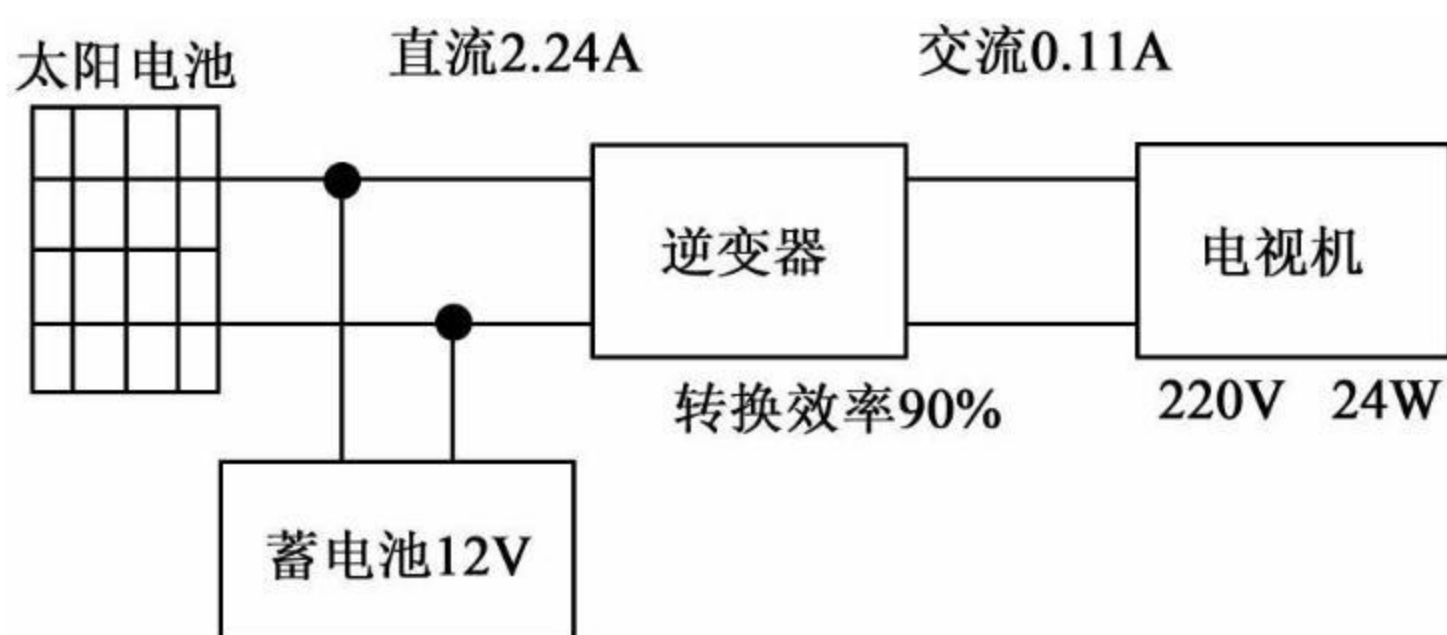


图 7.5 逆变器的输入电流与输出电流的关系

$$\text{逆变器的输出电流 (A)} = \frac{\text{交流输出 (W)}}{\text{交流电压 (V)}} \quad (7.27)$$

$$\text{逆变器的输入电流 (A)} = \frac{\text{逆变器输出电流 (A)} \times \text{交流电压 (V)}}{\text{系统电压 (V)} \times \text{转换效率}} \quad (7.28)$$

由于计算机负载为 24W, 220V, 逆变器的输出电流、输入电流如下：

$$\text{逆变器的输出电流 (A)} = \frac{24 \text{ (W)}}{220 \text{ (V)}} = 0.11 \text{ (A)}$$

$$\text{逆变器的输入电流 (A)} = \frac{0.11 \text{ (A)} \times 220 \text{ (V)}}{12 \text{ (V)} \times 0.9} = 2.24 \text{ (A)}$$

对于直、交流负载蓄电池使用型系统的各部分连接来说，原则上应将逆变器与蓄电池直接相连。由于 220V 的电器在开关接通的瞬间会超过额定功率，如果将其与充放电控制器连接，流过的大电流会导致充放电控制器损坏。但是，如果流向逆变器的最大电流小于充放电控制器的额定负载电流，则可按蓄电池、充放电控制器、逆变器的顺序连接。

7.4.2 使用计算机仿真方法设计独立型太阳能光伏系统

以上介绍了使用参数分析法设计独立型太阳光伏系统的方法。下面以直、交流负载直接型太阳光伏系统为例,简要说明用计算机仿真方法设计独立型太阳能光伏系统的方法。

如前所述,用计算机仿真方法设计独立型太阳能光伏系统时,需要使用太阳能光伏系统设置地点的标准气象数据,如户外温度、直达日射量、风向、风速、云量等。根据太阳电池阵列、蓄电池、逆变器等数学模型、负载的特性、标准气象数据以及阵列的面积进行最优设计以及确定运行模式。仿真时通常以一年为对象,进行 8 760 小时的连续计算。决定太阳电池阵列容量、蓄电池容量、逆变器的大小以及运行工作点等。

这里,以太阳电池阵列容量的设计为例说明计算机仿真的设计方法。其中,系统的初始条件为太阳电池的转换效率、逆变器的转换效率、太阳电池阵列的温度系数等,计算流程如图 7.6 所示。

对于蓄电池使用型独立型太阳能光伏系统来说,进行蓄电池的容量计算时,首先,适当设定蓄电池的端电压 V_1 ;再算出此电压所对应的太阳电池阵列的输出电流 I_1 ,以及与负载功率相应的逆变器的输入电流 I_3 ,根据二者之差 $(I_1 - I_3)$ 计算出蓄电池的电流 I_2 ;然后由 I_2 计算出蓄电池的电压 V_2 , V_1 与 V_2 的差在允许范围内时,则结束此计算进行下一步的计算。若 V_1 与 V_2 之差较大,则取 V_1 与 V_2 的平均值 V_{av} 作为新的 V_1 代入再进行计算。直到 V_1 与 V_2 之差在允许范围内,然后结束此计算而进行其他的计算。计算流程如图 7.7 所示。

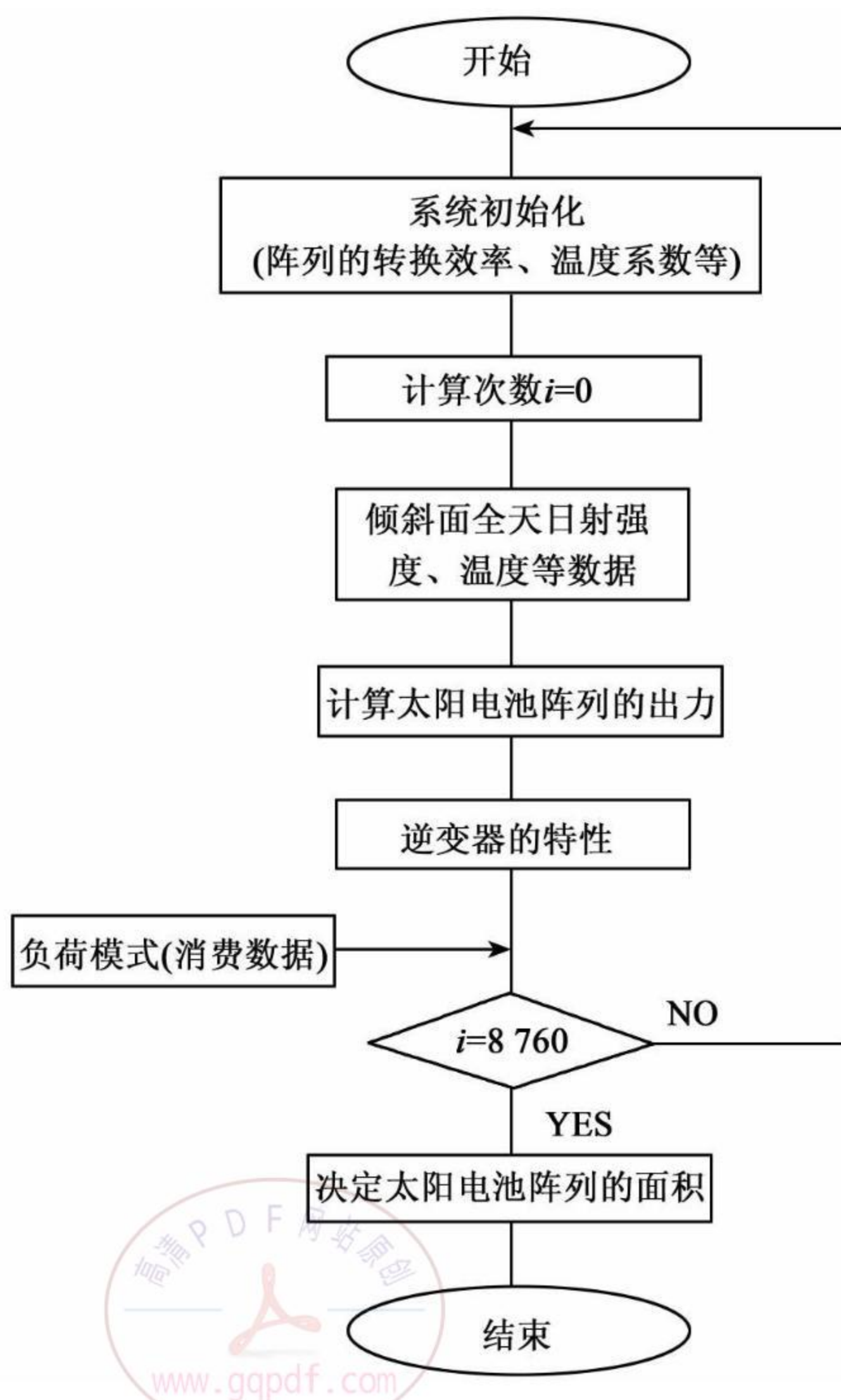


图 7.6 用计算机仿真法设计独立型太阳能光伏系统(阵列面积的计算)

7.5 住宅用太阳能光伏系统的设计

这里用参数分析法,以住宅型屋顶设置的太阳能光伏系统为例,介绍太阳能电池阵列的设计步骤,在给定的条件下介绍太阳能电池阵列

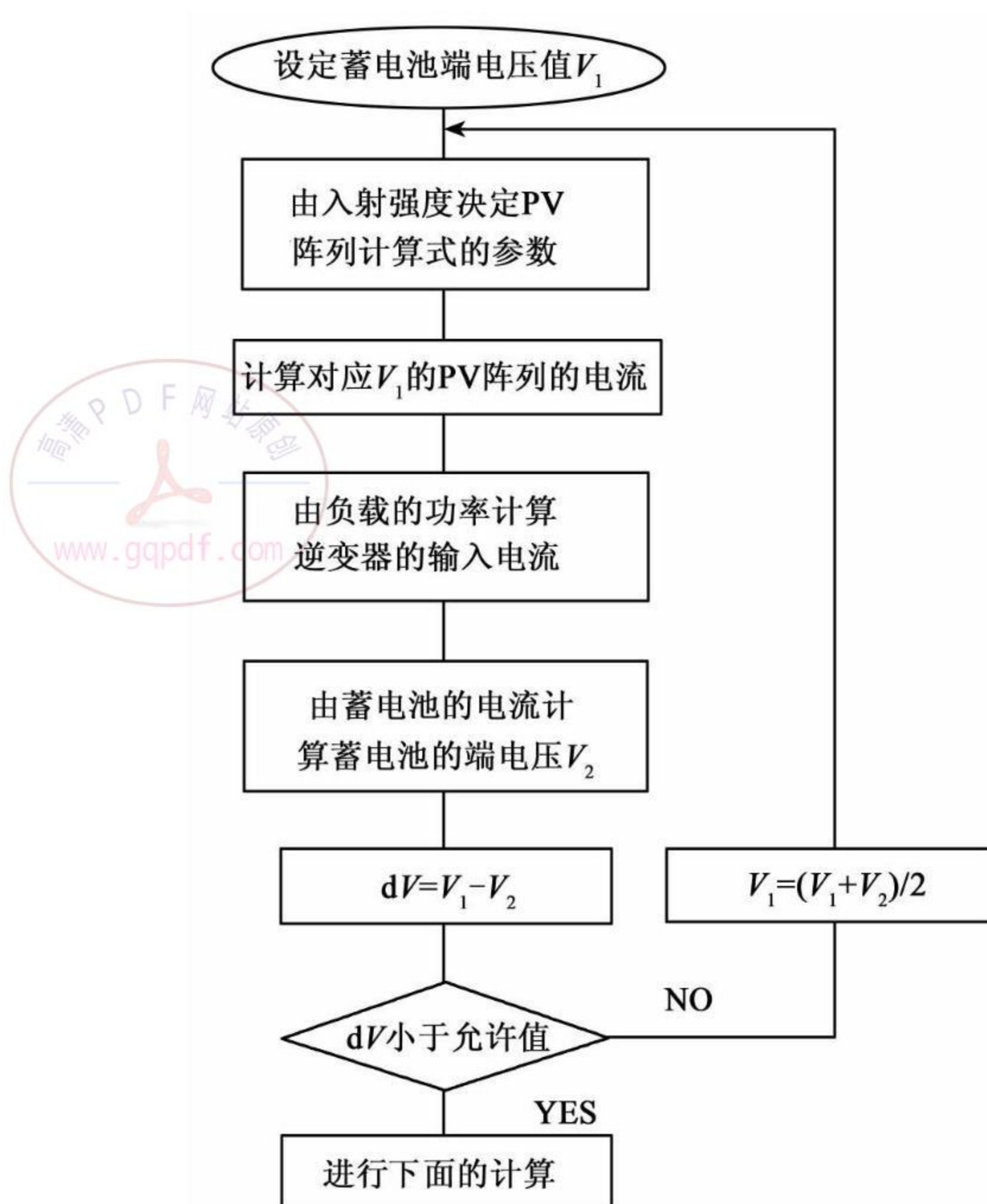


图 7.7 用计算机仿真法设计独立型太阳能光伏系统

的设计方法,并计算必要的太阳电池容量、阵列的枚数、串、并联数,并对系统的年发电量进行估算。

7.5.1 设计步骤

目前,住宅用太阳能光伏系统一般为有逆潮流的并网系统,因此这里以住宅用太阳能光伏系统为例说明设计步骤。

1. 房屋调查,包括结构形状、方位、周围的状况等;
2. 太阳电池设置场所的选定(强度、面积等);
3. 确定功率调节器输出电压;
4. 太阳电池组件的串联数的确定;
5. 各纵列组件(String)面积的计算;
6. 设置面积的计算;
7. 最终方案设计;
8. 并联组数的确定。

7.5.2 设计条件

1. 屋顶面积为 40m^2 , 年间不受阴影遮盖;
2. 实地调查结果, 设置面积为 36m^2 ;
3. 房顶正南向, 倾斜角度 30° ;
4. 家庭内的年总消费量为 $3\,000\text{kW}\cdot\text{h}$;
5. 设置场所的年平均日射量为 $3.92\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$;
6. 太阳电池组件: 100W 、 35V 、 $985\text{mm}\times 885\text{mm}$;
7. 功率调节器的输入电压 $\text{DC } 220\text{V}$ 。

7.5.3 太阳电池阵列的设计

1. 必要的太阳电池容量

这里, 假定家庭内的全部消费电力由太阳能光伏系统提供。因此, 负载对太阳能光伏系统的依存率为 100% ($=1$), 设计余量系数 R 取 1.1 , 综合设计系数取 0.58 , 满足年消费量时的必要的太阳电池容量由如下公式计算:

$$P_{\text{AS}} = \frac{E_{\text{L}} \text{DR}}{(H_{\text{A}}/G_{\text{S}}) K}$$

$$P_{\text{AS}} = \frac{3000/365 \times 1.0 \times 1.1}{(3.92/1.0) \times 0.77} = 2.994 \text{ (kW)}$$

2. 太阳电池组件的必要枚数

$$\text{太阳电池必要枚数} = 2.994 \text{ (kW)} \div 100 \text{ (W)} = 2994 \div 100 =$$

29.94 (枚), 取 30 枚。

3. 太阳能电池组件的串联枚数

由于功率调节器的输入电压为 DC 220V, 一枚太阳能电池的输出电压为 35V, 所以串联枚数为 $220 (\text{V}) \div 35 (\text{V}) = 6.29$ (枚)。因此, 6 枚串联的太阳能电池组件构成一组, 此组的出力为 600W ($100\text{W} \times 6$ 枚), 电压为 210V ($35\text{V} \times 6$ 枚), 面积约为 6m^2 。

4. 并联组数

由于设置面积为 36m^2 , 一组太阳能电池所占面积为 6m^2 , 所以并联组数为

$$36 (\text{m}^2) \div 6 (\text{m}^2) = 6 (\text{组})$$

即可配置 6 组。将各组并联起来便构成阵列, 因此设置可能的太阳能电池阵列的容量为

$$600 (\text{W}) \times 6 = 3600 (\text{W})$$

因此, 此户可设置 3.6kW 的太阳能光伏系统。

最后, 考虑屋顶的形状、阴影、维护等对太阳能电池组件进行布置设计, 以确保 3kW 的太阳能电池阵列设置无误, 到此太阳能光伏系统的设计结束。

系统设计完后, 所设计的太阳能电池阵列到底能产生多大的年发电量, 还必须对此系统的年发电量进行估算, 可以由下式估算:

$$E_p = \frac{H_A K P_{AS}}{G_s}$$

$$E_p = (3.92 \times 365 \times 0.77 \times 3.6) / 1 = 3966.2 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

一年的发电量为 $3966.2\text{kW} \cdot \text{h}$, 能满足年 $3000\text{kW} \cdot \text{h}$ 的需要。

住宅并网型太阳能光伏系统设计时, 用参数分析法设计一般比较粗略, 而采用计算机仿真法, 使用日射量、温度、风速以及负载等数据进行实时计算, 得出的结果比较精确。

7.6 太阳能光伏系统成本核算

太阳能光伏系统的费用一般可分成设置费用与年经费。设置费

用包括系统设备费用、安装施工以及土地使用费用,系统设备费用中逆变器以及系统并网保护装置的费用约占一半。太阳能光伏系统的年经费(年直接费用)包含人工费、维护检查费等。住宅用太阳能光伏系统的年经费非常低。

太阳能光伏系统的成本一般用发电成本来评价,用下式计算:

$$\text{发电成本} = \text{年经费} \div \text{年发电量}$$

年发电量可以由下式估算:

$$E_p = \frac{H_A K P_{AS}}{G_S}$$

式中, E_p : 年发电量(kW·h);

P_{AS} : 标准状态时太阳电池阵列的容量(kW);

H_A : 年平均阵列表面的日射量[千瓦时/(平方米·年)]

G_S : 标准状态下的日射强度(1kW/m²);

K : 综合设计系数。

火力发电或核电等的发电成本一般根据电力公司的年经费(人事费、燃料费以及其他诸费用)算出,但太阳能光伏系统则采用下式计算:

$$\text{发电成本元/千瓦时} = ((\text{设置费用} \div \text{使用年数}) + \text{年直接费用}) \div \text{年发电量}$$

现在,与其他的发电方式如火力发电、核电等比较,太阳能光伏系统的发电成本较高。但随着太阳能光伏系统的大量应用与普及,将来会与现在的发电方式的成本接近或基本相同。



第 8 章 太阳能光伏系统的应用

太阳能光伏系统的应用已经非常广泛,应用的范围已遍及民用、住宅、产业、大楼、宇宙等领域。目前主要应用领域为:宇宙开发、海洋河川、通信、道路管理、汽车、运输、农业利用、住宅、大中规模利用以及太阳能发电所等。本章主要介绍太阳能光伏系统在民用、住宅、产业、大楼、防灾等方面的应用情况。

8.1 民用太阳能光伏系统

太阳电池于 1958 年在人造卫星上首次被使用。当时由于价格昂贵,70 年代前太阳电池未得到广泛地使用。1962 年在收音机上太阳电池被首次使用,才拉开了太阳电池在民用上应用的序幕。但由于当时三极管的耗电功率较大,未能得到广泛地应用。随着半导体集成电路 IC、LSI 的发展使电子产品的耗电功率大幅度下降以及非晶硅电池的低成本制造成功,1980 年太阳电池在计算器上被应用。以后在钟表上应用,相继出现了太阳能计算器、太阳能钟表等电子产品,使太阳电池在民用上得到越来越广泛地应用。

8.1.1 太阳能计算器

图 8.1 为太阳能计算器的外观,太阳电池为独立的系统,太阳能计算器一般采用非晶硅太阳电池。对液晶显示的计算器来说,由于耗电较少,所以太阳电池在荧光灯的光线照射下所产生的电力就足以满足其需要。



图 8.1 太阳能计算器

8.1.2 太阳能钟表

图 8.2 为太阳能手表的外观以及断面图,太阳能手表采用非晶硅太阳电池作为电源。太阳电池较薄,可以做成各种不同的形状以满足各种手表对外观的要求。现在一般将透明、柔软的太阳电池安装在本体内文字板的外圈并成圆形布置。

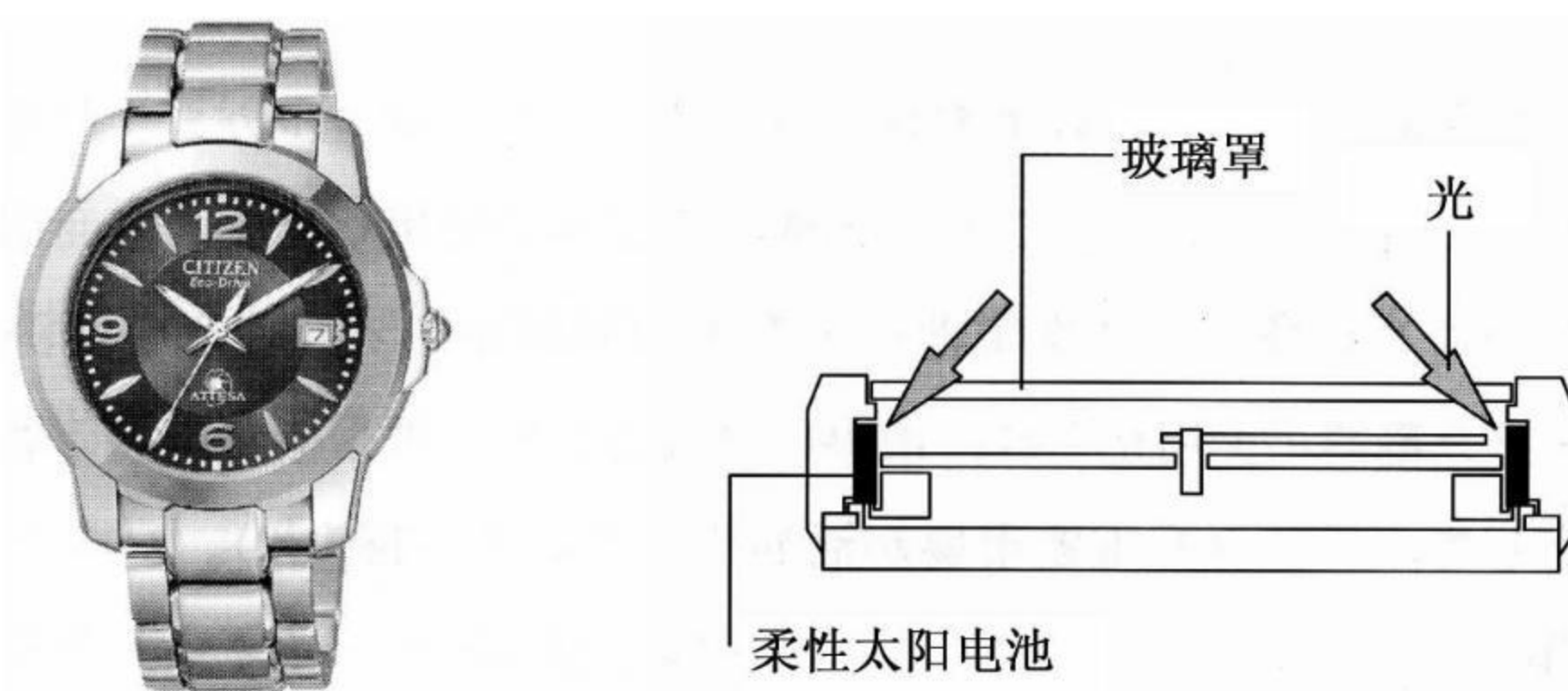


图 8.2 太阳能手表的外观以及断面图

最近,在公园以及公共设施处可以看到太阳能钟表。由于钟表

技术的发展,节能的钟表不断出现,用小容量的太阳电池作动力成为可能,图 8.3 为太阳能钟表的应用实例。

白天太阳电池所产生的电力直接驱动太阳能钟表,并将剩余电力通过蓄电池存储起来;日落时传感器感知太阳电池的输出低下使蓄电池向太阳能钟表供电,以保证太阳能钟表走时准确。



图 8.3 太阳能钟表的应用实例

8.1.3 太阳能充电器

1. 手机等用太阳能充电器

现在,带有小型充电电池的手机、笔记本电脑以及数字照相机等应用已非常普及。这些设备由于大多在远离商用电源的地方使用,因此存在充电的问题。太阳能充电器可以解决这个问题,图 8.4 为手机用太阳电池充电器。

2. 车用蓄电池太阳能充电器

车用蓄电池如果长时间不使用时,由于自然放电会使蓄电池的电压下降。为了避免这种情况的发生,一般使用车用蓄电池太阳能充电器对蓄电池进行充电,图 8.5 为车用蓄电池太阳能充电器。由

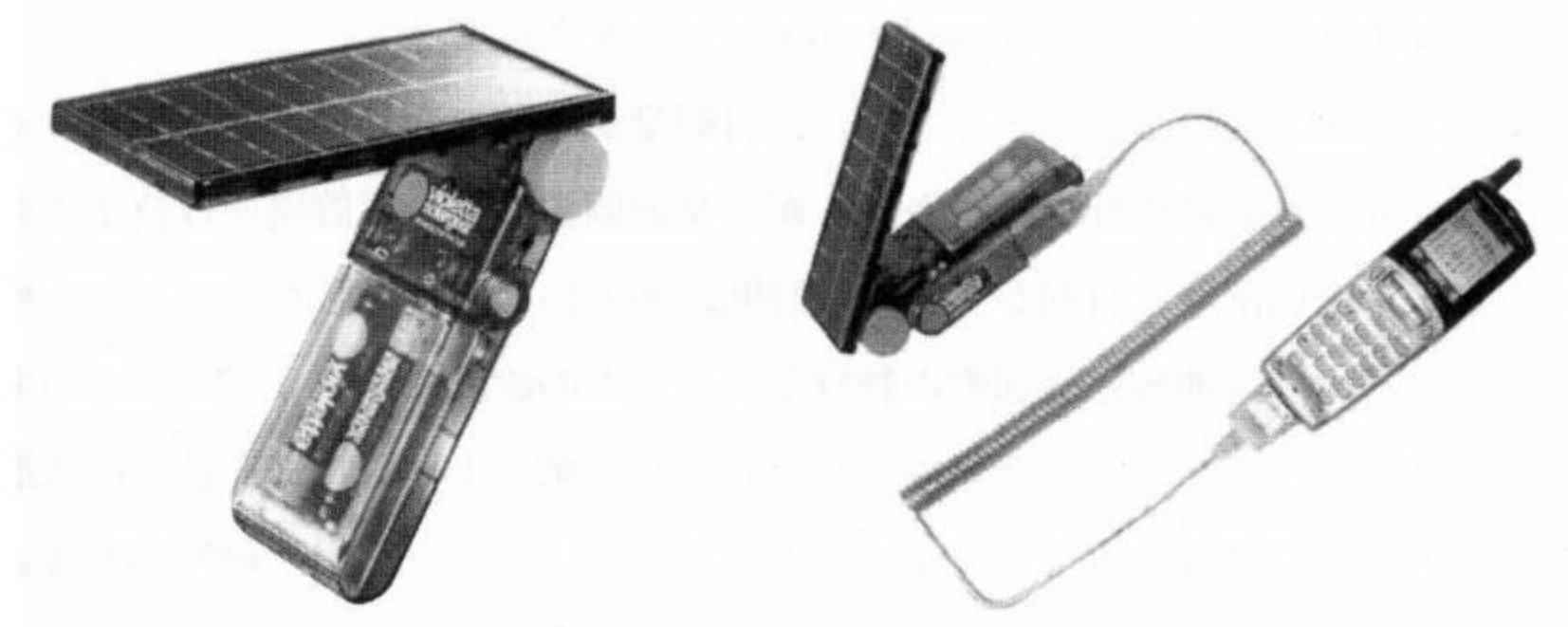


图 8.4 太阳电池充电器

于车用蓄电池的电压为 12V, 因此必须将数枚太阳电池串联以满足车用蓄电池的电压的要求。因为一枚非晶硅太阳电池可以获得比较高的电压, 所以车用蓄电池太阳能充电器常用非晶硅太阳电池。

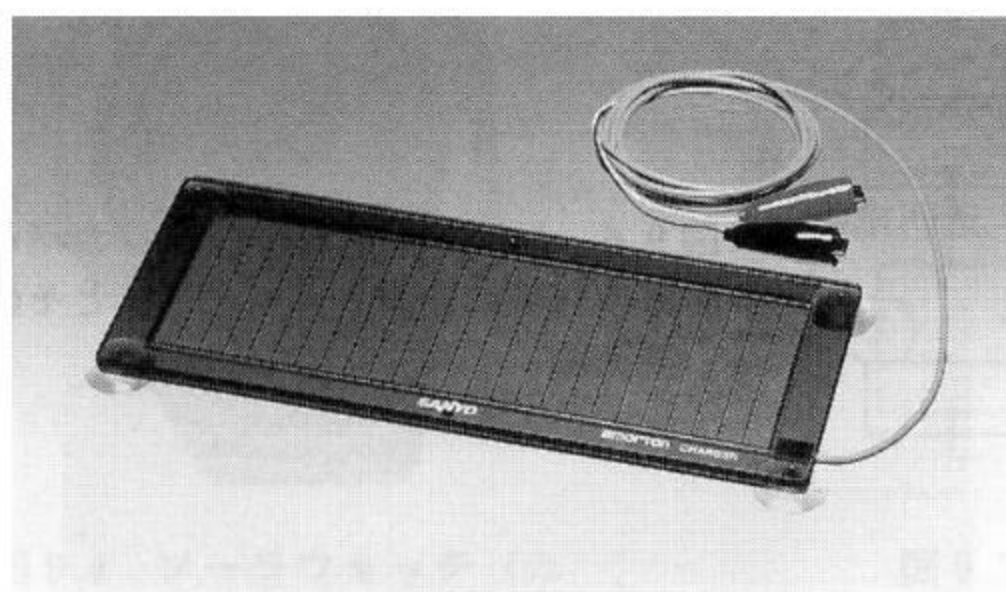


图 8.5 车用蓄电池太阳能充电器

8.1.4 交通指示用太阳能光伏系统

以前, 太阳能光伏系统主要用于指示板等荧光灯的照明电源。现在, 一般将太阳电池与高亮度 LED 组合构成交通指示用太阳能光伏系统, 如自发光式道路指示器、方向指示灯以及障碍物指示灯等, 图 8.6 分别为自发光式障碍物指示灯以及方向指示灯。

这些指示灯所使用的蓄电器一般为密封型蓄电池或电气二重层



图 8.6 交通指示用太阳能光伏系统

电容,具有充电简单等特点。由于交通标志可能设置在建筑物、偏僻的地方,因此会出现照射时间短、有时只能接收散乱光的情况,所以,设计太阳电池的容量时,应比通常的独立型系统大 5 ~ 10 倍。另外,由于指示灯使用的场所不同还应满足强度、耐腐蚀等要求。

8.1.5 防灾、救助太阳能光伏系统

灾害时,太阳能光伏系统作为独立电源一般用于避难引导灯、防灾无线电通信等。对于并网型太阳能光伏系统,当商用供电停止时,带有蓄电池的自立运行切换型太阳能光伏系统可向灾害时的紧急负荷供电,如加油站、道路指示以及避难场所指示等。

图 8.7 所示为 60kW 的防灾型太阳能光伏系统的全景。通常,该系统通过系统并网保护装置与电力系统连接,防灾型太阳能光伏系统所产生的电力供给工厂内的负荷。当灾害发生时,系统并网保护装置动作使其与电力系统分离,然后作为紧急通讯电源、避难所、医疗设备以及照明等电源使用。

8.1.6 其他应用

图 8.8 为路灯用太阳能光伏系统。图 8.9 为太阳能玩具、太阳能换气扇以及庭园灯使用的情况。



图 8.7 防灾、救助太阳能光伏系统

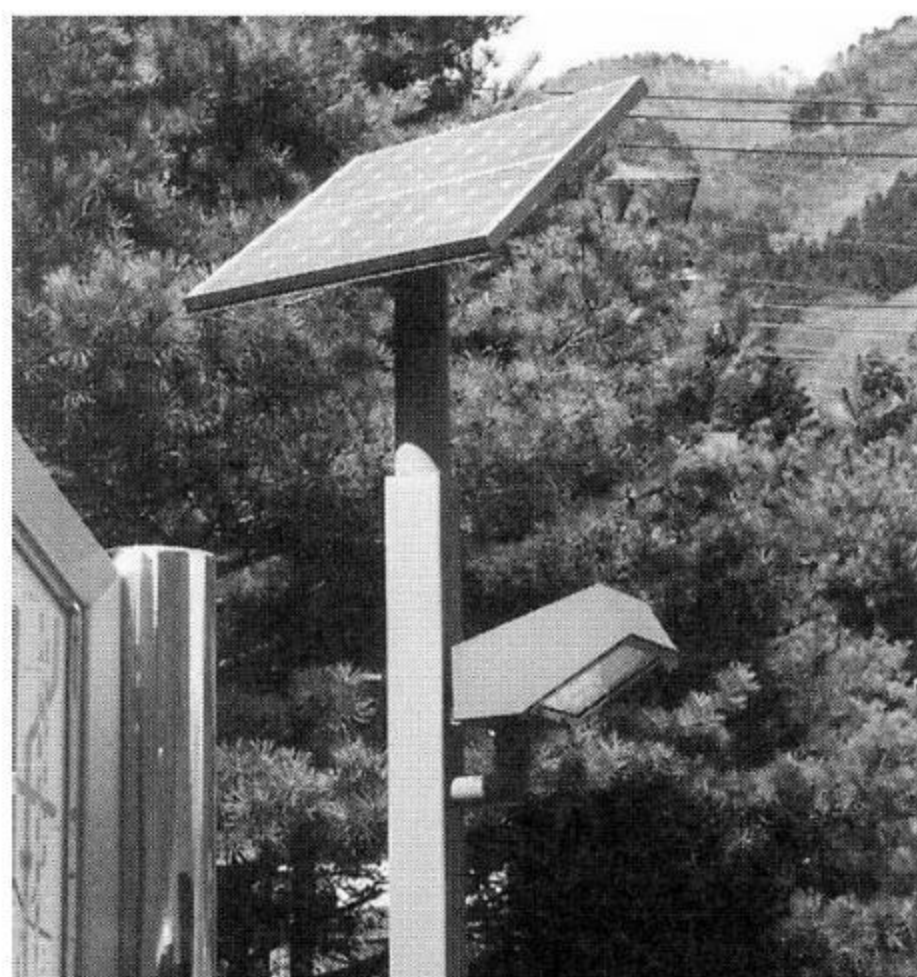


图 8.8 路灯用太阳能光伏系统



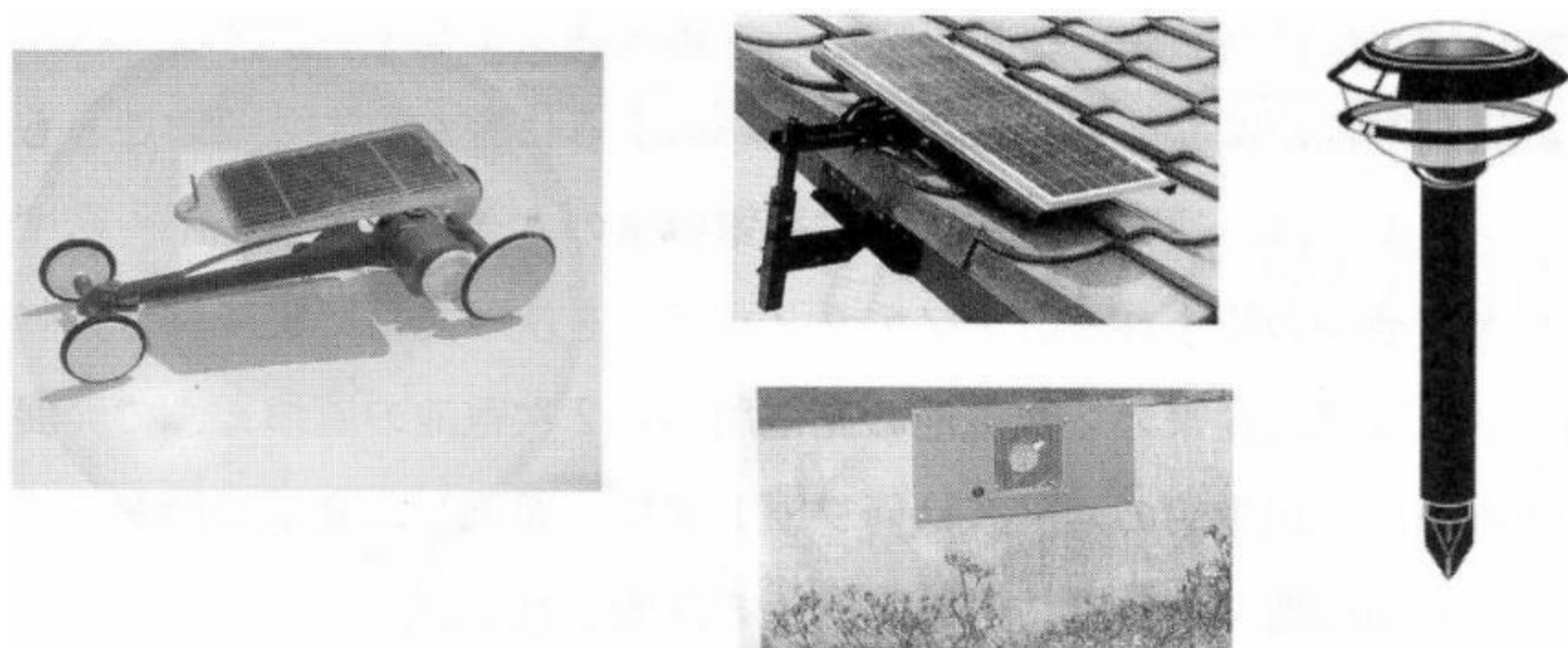


图 8.9 太阳能玩具、太阳能换气扇以及庭园灯

8.2 住宅用太阳能光伏系统

现在,住宅用太阳能光伏系统的设置正在不断增加,不只是已有的住宅,新建住宅设置太阳能光伏系统也在增加。标准的住宅用太阳能光伏系统一般南向设置,容量为 $3 \sim 4\text{kW}$,一般采用并网式太阳能光伏系统,太阳电池阵列的直流电通过逆变器转换成交流后供给住宅内的负载。如果太阳能光伏系统所产生的电能大于负载则通过配电线向电力公司卖电。相反,则从电力公司买电。住宅用太阳能光伏系统的全年发电量中大约 40% 的电量供住宅内的负载消费,余下的 60% 出售给电力公司。但是,由于夜间太阳能光伏系统不能发电,因此,住宅内的负载约 60% 的电量需要从电力公司买入。一般来说,容量为 $3 \sim 4\text{kW}$ 的住宅型屋顶太阳能光伏系统基本能满足一般家庭的年消费量的需要。图 8.10 为各种形式的住宅用太阳能光伏系统。

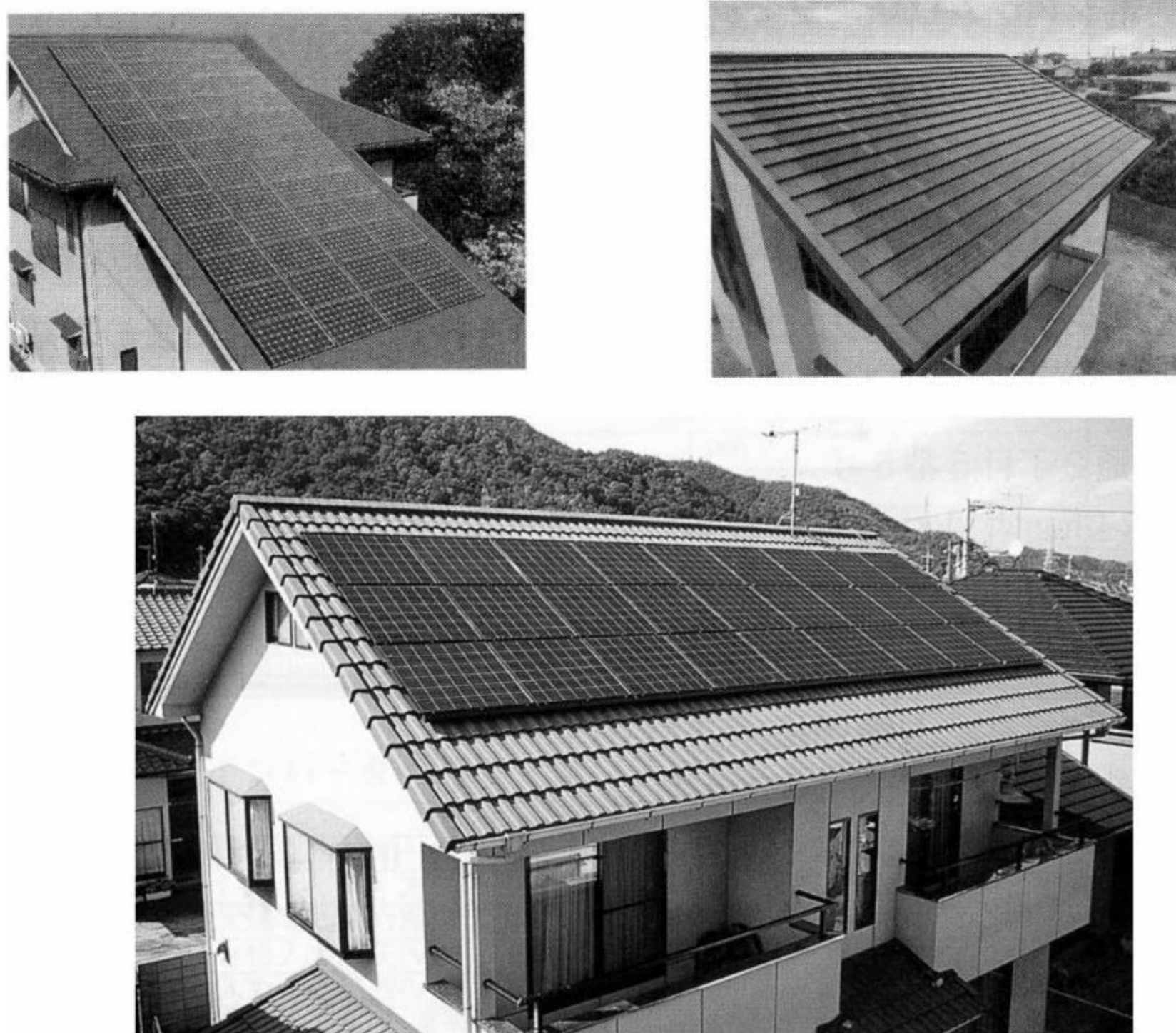


图 8.10 住宅用太阳能光伏系统

8.3 大楼用太阳能光伏系统

大楼、高层建筑物等处设置太阳能光伏系统时,一般采用建材一体型太阳电池组件(BIPV:Building Integrated Photovoltaics)。组件有标准型、屋顶材一体型以及强化玻璃复合型等。

大楼用太阳能光伏系统主要用于公共设施、产业用建筑物、办公楼、学校、体育馆、医院、福利设施、工厂、车站、码头、机场等。与住宅用太阳能光伏系统相比,其规模较大,设置面积一般超过 100m^2 、设置容量在 $10\sim 1\,000\text{kW}$ 。另外,大楼用太阳能光伏系统的电能一般自己消费,很少卖电,卖电价格可能会低于住宅用太阳能光伏系统的价格,因此会减少电力公司的负担。除此之外,灾害发生时,大楼用太

太阳能光伏系统作为备用电源可以为大楼供电。图 8.11 为大楼壁面设置的太阳能光伏系统。

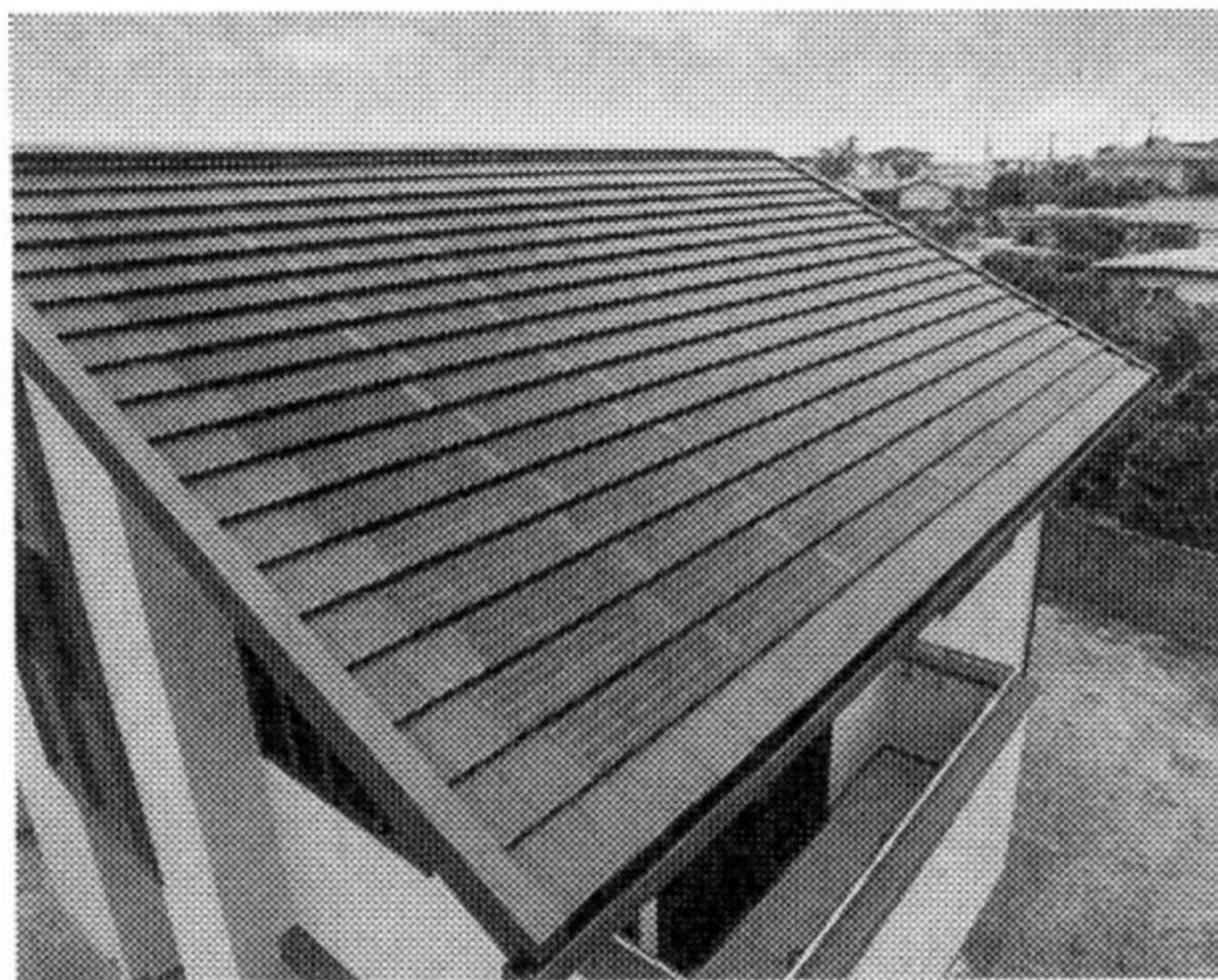


图 8.11 大楼壁面设置的太阳能光伏系统

图 8.12、图 8.13 分别为大学校园内设置的屋顶型、采光型太阳



图 8.12 屋顶设置型太阳能光伏系统



图 8.13 采光型太阳能光伏系统

能光伏系统。系统的容量为 40kW，太阳能电池阵列约 400m^2 ，日射量为 $1\,500\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ，整个系统所产生的电量约为 $45\,000\text{kW}\cdot\text{h}$ 。太阳能光伏系统所产生的电力由 4 台逆变器变成交流电后供学校照明、空调设备使用。

图 8.14 为工厂厂房顶设置的太阳能光伏系统，图 8.15 大楼的房顶以及壁上设置的太阳能光伏系统。



图 8.14 厂房顶设置的太阳能光伏系统

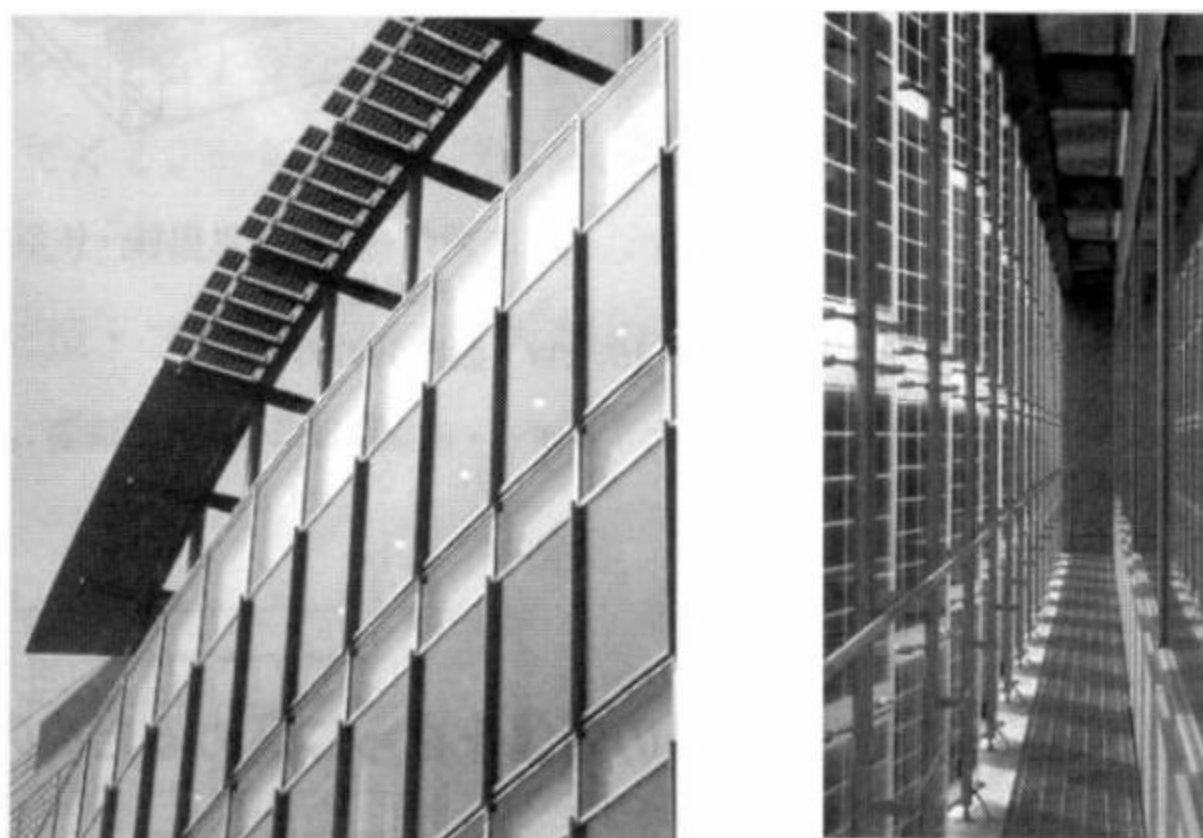


图 8.15 大楼设置的太阳能光伏系统

8.4 集中并网型太阳能光伏系统

个人住宅型太阳能光伏系统的设置正在逐步得到应用与普及,一般为单独、分散设置。但是,随着大量住宅小区以及居住型城市的建设,集中并网型太阳能光伏系统将会得到应用与普及。图 8.16 为在某地域的住宅以及公共设施上设置的集中并网型太阳能光伏系统,住宅约 500 栋,容量为 1 000kW,该系统可为 300 栋的负载提供电能。



图 8.16 集中并网型太阳能光伏系统

第9章 太阳能光伏系统的安装

太阳能光伏系统设计完成之后,则要进入太阳能光伏系统的安装与施工阶段。太阳能光伏系统的安装包括太阳电池阵列的安装、电气设备的安装、配线以及接地等。太阳电池阵列的安装方法根据安装的地点(如柱上、地上、屋顶等)以及不同的太阳电池组件而有不同的安装方法。本章简要介绍太阳电池的设置场所、安装方式、电气配线、接地等。

9.1 太阳电池的设置场所、安装方式概要

1. 太阳电池的设置场所

太阳电池的设置场所根据需要多种多样,可以分为柱上设置、地上设置、屋顶设置、建筑物的屋上以及壁面设置等。

2. 太阳电池的安装方式

太阳电池的安装方式根据太阳电池的设置场所的不同而不同,前已叙及,主要有柱上安装方式、地上安装方式、建筑物屋上安装方式以及壁面安装方式等。

9.2 住宅用太阳能光伏系统屋顶安装方法

对于住宅用太阳能光伏系统,太阳电池的屋顶安装方法有两种:一种是在屋顶已有的瓦或金属屋顶上固定台架,然后在其上安装太阳电池;另一种是将建材一体型太阳电池组件直接安装在屋顶上。对于前一种安装方法来说可分为紧拉固定线方式和支撑金具方式。

9.2.1 屋顶安装型太阳能电池阵列

屋顶安装型太阳能电池阵列有整体式、直接式、间隙式以及架子式等四种不同的型式。表 9.1 为四种不同型式的屋顶安装型太阳能电池阵列的安装方法、优点及缺点：

表 9.1 屋顶安装型太阳能电池阵列的分类

方式	施工方法	优点	缺点
整体型 	直接安装在屋顶的框架中。	外形优美。	适用于新建的屋顶。
直接型 	在屋顶的水平板上直接安装。	适用于已建屋顶,可与使用的瓦互换;外形优美。	组件升温容易。
间隙型 	在已有的屋顶上设置安装台架。(与屋顶面平行)	组件的温升不高。	由于设置了安装台架,会影响强度。
架子型 	在已有的屋顶上设置安装台架。(与屋顶面垂直)	可得到最佳的安装角;组件的温升不高。	外形不太美;由于设置了安装台架,会影响强度。

9.2.2 紧拉固定线方式

这种方式是在屋顶的瓦上固定台架, 太阳能电池放在台架上, 然后用数根铁丝将台架拉紧固定的方式, 如图 9.1 所示。

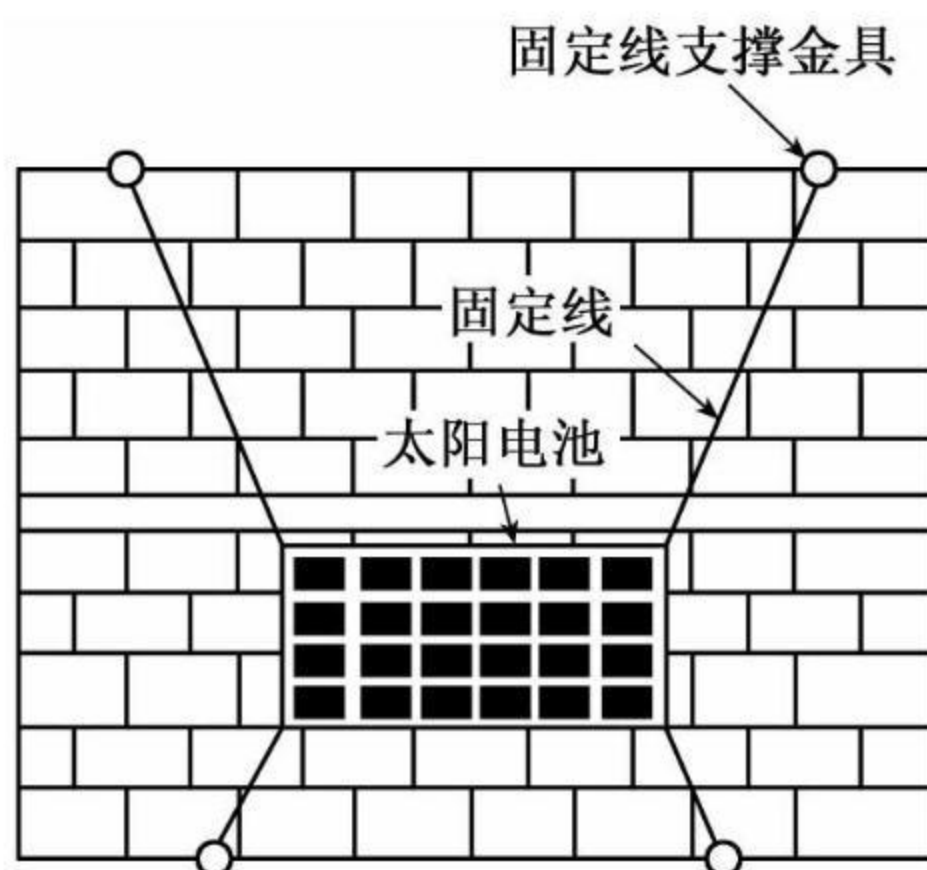


图 9.1 紧拉固定线方式

9.2.3 支撑金具方式

在已使用的屋顶材料上用螺钉将支撑部分用金具固定, 然后在其上固定台架, 如图 9.2 为屋顶设置的概念图, 图 9.3 所示为支撑金具方式。

9.2.4 建材一体型太阳能电池组件的安装方法

如前所述, 建材一体型太阳能电池组件有建材屋顶一体型太阳能电池组件、建材壁一体型太阳能电池组件以及建材柔软型太阳能电池组件等。建材屋顶一体型太阳能电池组件有三种, 即可拆卸面板式、屋顶面板式以及断热面板式。建材壁一体型太阳能电池组件可分为玻璃壁式以及金属壁式。建材一体型太阳能电池组件的最大特点是不另外使用屋顶材料, 直接将太阳能电池作为屋顶的材料使用, 也就是说太阳能电池组件既可当屋顶材料使用又可用于发电。

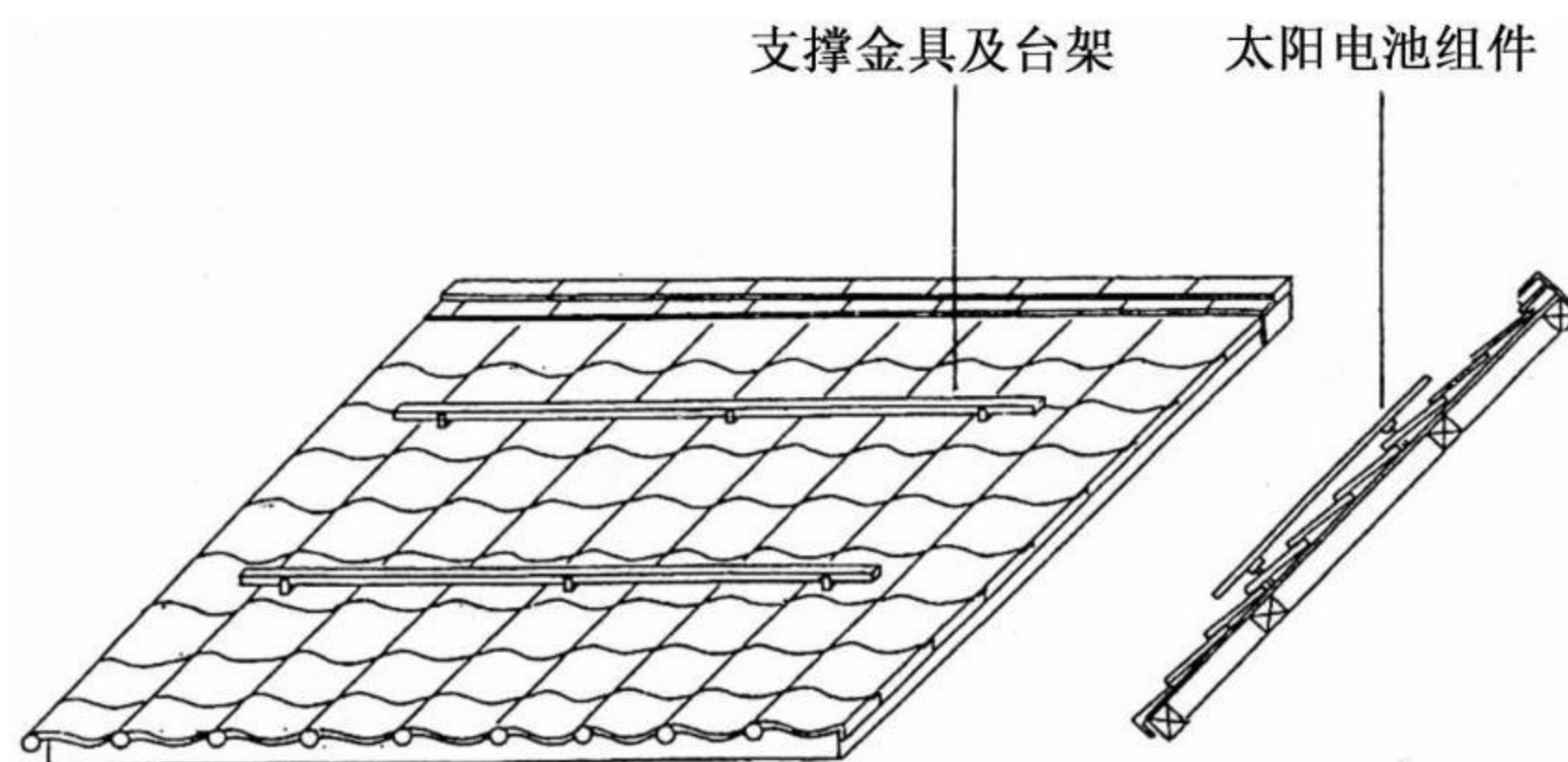


图 9.2 屋顶设置的概念图

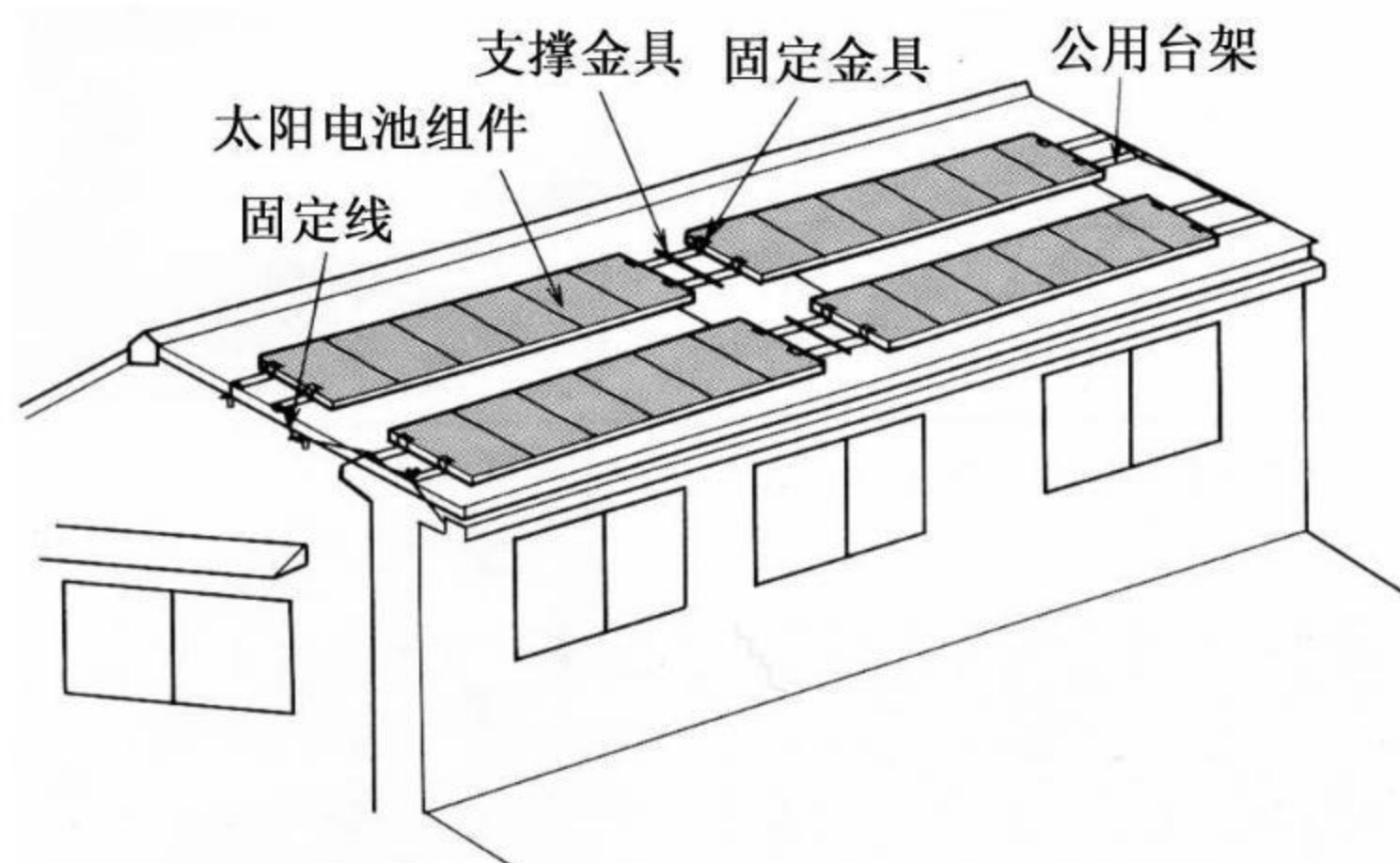


图 9.3 支撑金具方式的安装实例

如图 9.4 所示为建材一体型太阳能电池组件的构成。建材一体型太阳能电池组件一般在新建的住宅以及屋顶翻新时使用比较合适。通常采用在房顶构件上设置通气孔,然后安装建材一体型太阳能电池组件的方法。

除了非晶硅太阳能电池之外,由于其他的太阳能电池的转换效率随温度上升会下降,因此设置通气孔可以使太阳能电池周围的空气与外

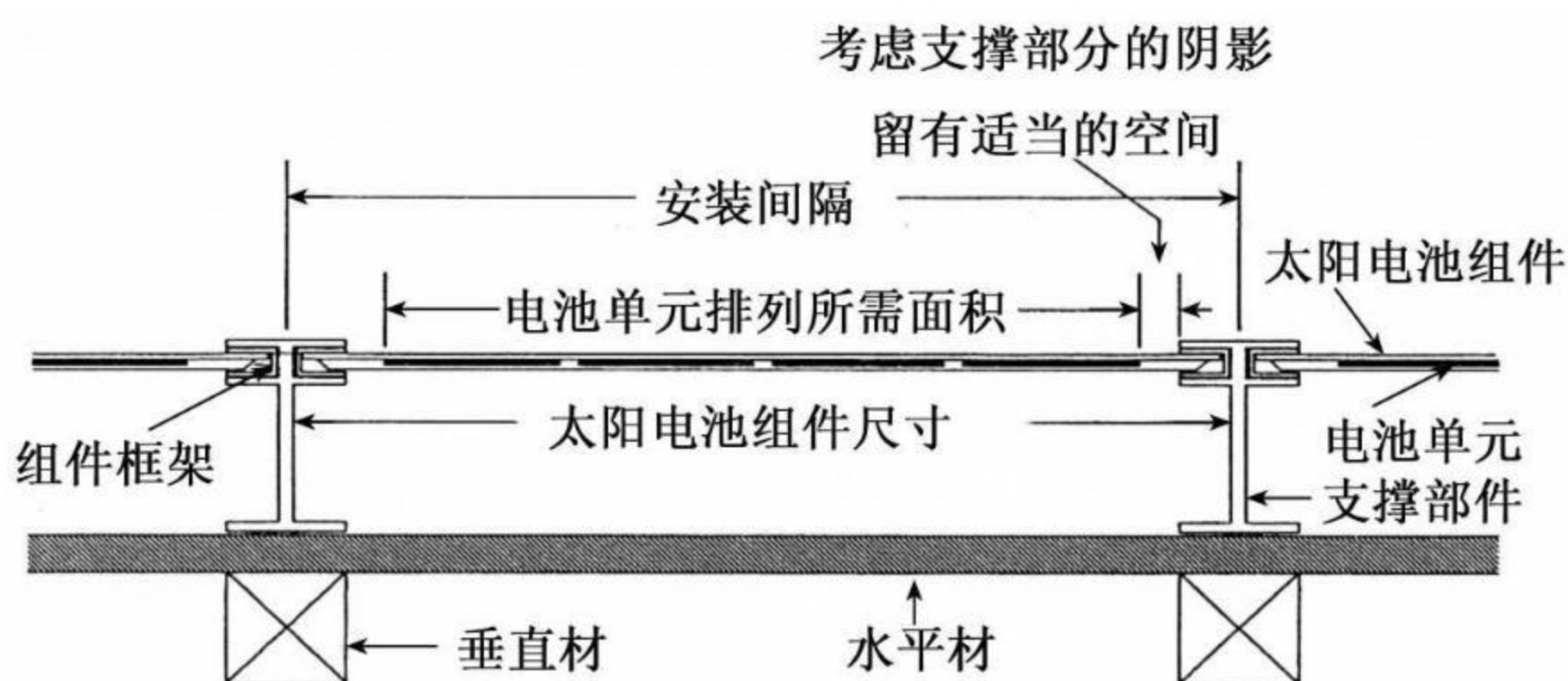


图 9.4 建材一体型太阳能电池组件的构成

面的空气对流,使太阳电池的温升降低。从而提高太阳电池的转换效率,使太阳电池的出力增加。

9.3 电气设备的安装、配线以及接地

电气设备的安装一般与太阳电池组件的安装同时进行,从太阳电池组件的配线开始,依次与安装的接线盒、功率调节器等同时配线。

9.3.1 电气设备的安装

电气设备的安装除了前面所述的太阳电池阵列之外,还有功率调节器、配电盘、接线盒、买电功率表、卖电功率表等。

功率调节器一般安装在环境条件较好的地方。住宅用太阳能光伏系统用功率调节器如果安装在室内,一般安装在配电盘附近的墙壁上。如果安装在户外,则要安装在满足户外条件的箱体内部。此时要考虑周围温度、湿度、浸水、尘埃、换气、安装空间等因素。

有关配电盘,首先要检查已有的配电盘中是否有漏电断路器,是否有太阳能光伏系统专用的配电用断路器。如果没有的话则要对配电盘进行必要的改造,或者更换配电盘,还可以在已有的配电盘的附

近安装太阳能光伏系统专用的配电盘。

接线盒一般安装在太阳电池阵列附近。由于接线盒的安装地点可能受到建筑物的构造、美观等条件的限制,此时应考虑以后的检查、电气设备部件的交换等因素将接线盒安装在比较合适的地方。

如图 9.5 所示为买电、卖电电度表的安装示意图。卖电电度表一般安装在电力公司安装的买电电度表的旁边,电度表为户外式。室内式电度表一般安装在带有开窗的户外用箱中。

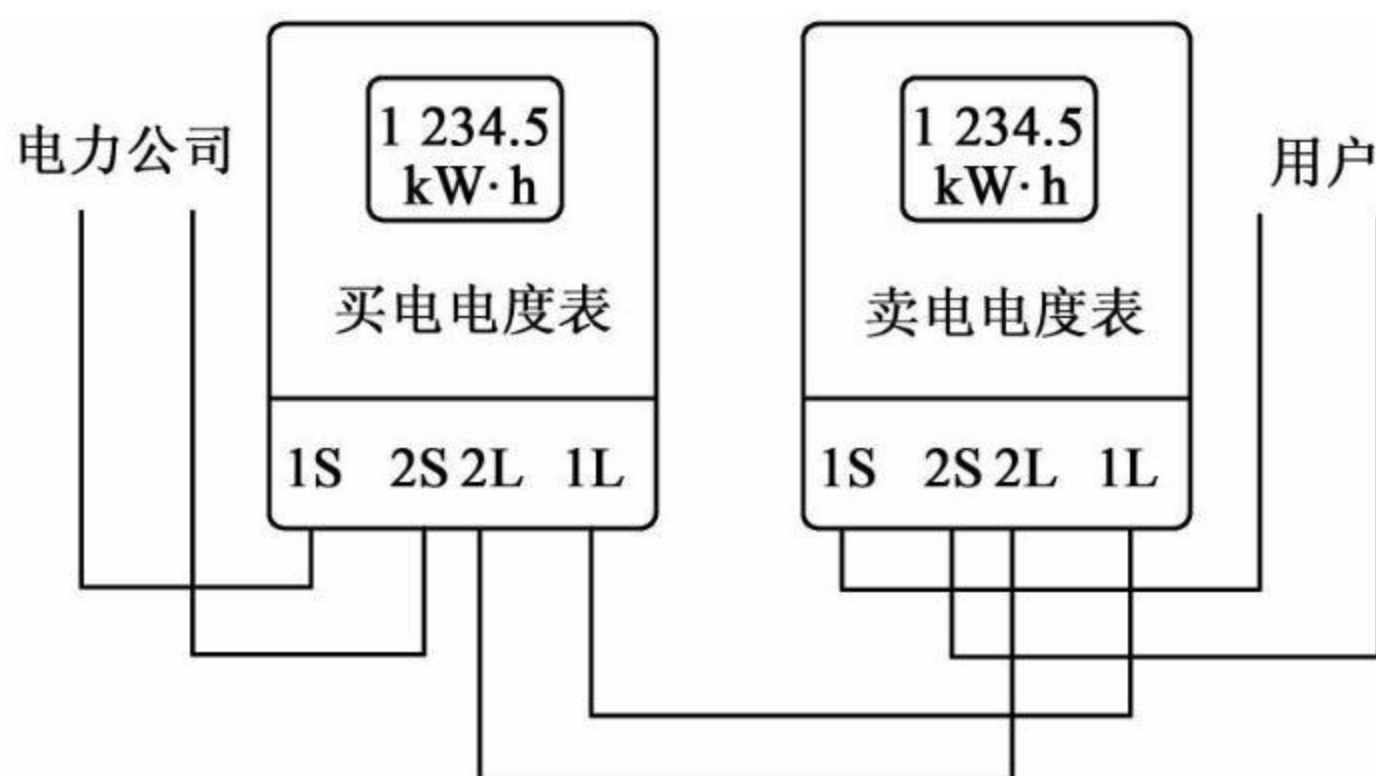


图 9.5 买电、卖电电度表的安装示意图

9.3.2 太阳电池组件与功率调节器之间的配线

进行太阳电池组件与功率调节器之间的配线时,所使用的电线的截面积应满足短路电流的需要。从太阳电池组件里面引出两根线,接线时一定要注意电线的极性不要接错。然后将串联电路必须的数枚太阳电池串联构成太阳电池组件,将太阳电池组件安装在台架上。最后将各串联电路引到接线盒进行配线,在接线盒内将其并联,如图 9.6 所示。

9.3.3 功率调节器与分电盘之间的配线

功率调节器的输出部分的电气接线方式一般为单相接线,注意不要将交流侧的地线接错。另外,应安装能断开漏电、雷电的漏电保

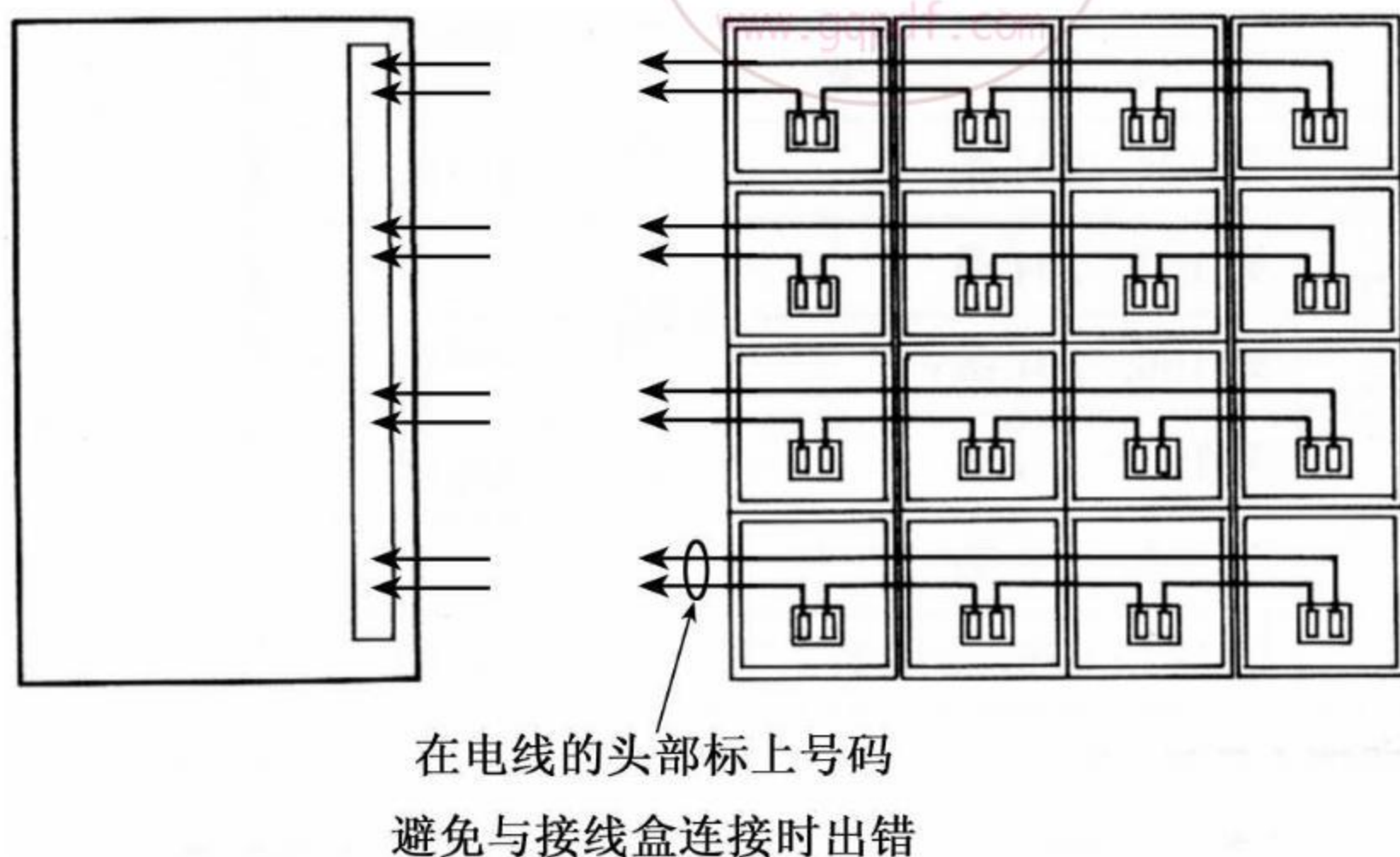


图 9.6 太阳电池阵列的配线施工图

护器。

9.3.4 太阳电池阵列的检查

太阳电池阵列配线结束后,需要检查各组件的极性、电压、短路电流、接地等。检查安装的太阳电池组件的电压是否与技术说明书的电压一致,用测量表、直流电压表测量正极、负极。用直流电流表测量各组件的短路电流,并与技术说明书所规定的电流比较是否一致。

9.3.5 接地施工

住宅用太阳能光伏系统的接地施工系统图如图 9.7 所示。太阳能光伏系统一般不需接地,但必须将台架、接线盒、功率调节器外壳等电气设备、金属配管等与地线相连接,然后通过接地电极接地,以保证人身、电气设备的安全。

9.3.6 防雷措施

由于太阳电池阵列安装在户外,阵列的面积大,而且其周围一般

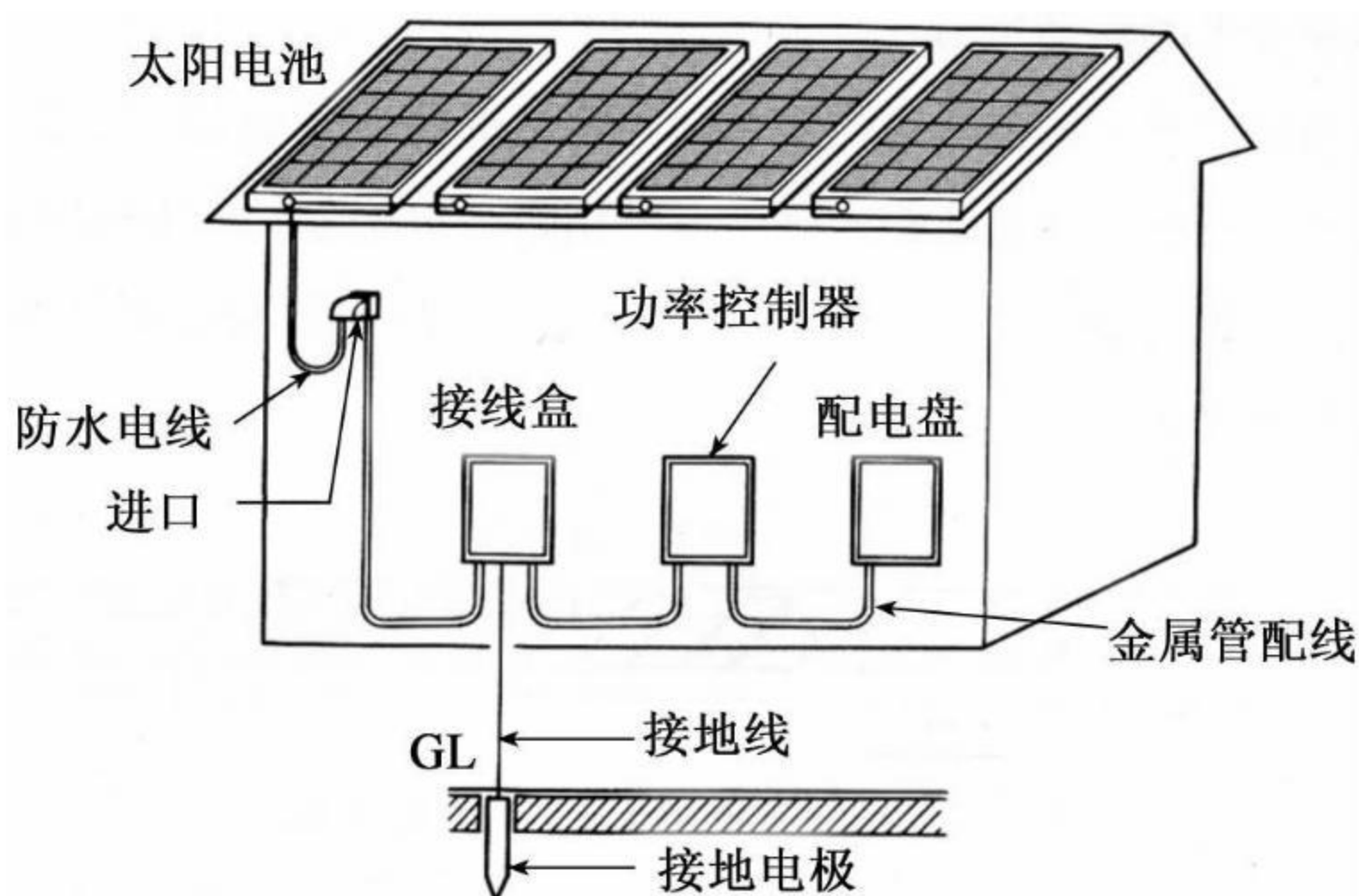


图 9.7 住宅用太阳能光伏系统的接地施工图

无其他建筑物，因此容易受到雷电的影响而产生过电压。所以必须根据太阳能光伏系统的安装地点以及供电的要求等实施防雷措施。

雷击一般通过太阳能电池阵列、配电线、接地线或以这些组合的形式侵入太阳能光伏系统。现在采用的防雷措施有：在太阳能电池阵列的主回路分散安装避雷装置；在功率调节器、接线盒内安装避雷装置；在配电盘内安装避雷装置以防止雷电从低压配电线侵入；在雷电较多的地区应考虑更加有效的防雷措施，如在交流电源侧设置防雷变压器等使太阳能光伏系统与电力系统绝缘，避免雷电侵入太阳能光伏系统。



第10章 太阳能光伏系统的检查与试验

太阳能光伏系统安装完毕后,需要对整个系统进行检查和必要的试验,以便系统能正常启动、运转。系统运转开始后还需要进行日常检查、定期检查以确保系统正常运转。本章将简单介绍系统的维护、检查的种类以及试验方法等。

10.1 太阳能光伏系统的检查种类

太阳能光伏系统的检查可分成系统安装完成时的检查、日常检查以及定期检查三种。

1. 系统安装完成时的检查

太阳能光伏系统安装结束后应对系统进行全面检查。检查内容包括目视检查以及测量试验,如太阳电池阵列的开路电压测量、各部分的绝缘电阻测量、对地电阻测量等。将观测结果和测量结果记录下来,为日后的日常检查、定期检查提供参考。

2. 日常检查

日常检查主要用目视检查的方式,一般一个月进行一次检查。如果发现异常现象应尽快与有关部门联系,以便尽早解决问题。

3. 定期检查

定期检查一般4年或4年以上进行一次。检查内容根据设备的特性等情况而定。原则上应在地面上实施,根据实际需要也可在屋顶进行。

10.2 太阳能光伏系统的检查

太阳能光伏系统检查一般对各电气设备进行外观检查,包括太阳电池组件、阵列台架、连接箱、功率调节器、系统并网装置、接地等。

1. 太阳电池组件的检查

太阳电池组件的表面一般采用强化玻璃结构,具有抵御冰雹破坏的强度。一般要对太阳电池组件进行钢球落下的强度试验,因此,在一般情况下不必担心太阳电池组件会发生破损现象。

但是,如果由于人为、自然因素使太阳电池组件受到损坏时,有时虽然可能未影响太阳电池组件的正常发电,但若长期不予修理,雨水进入可能会导致太阳电池的损坏,因此应尽早进行修理。

由于太阳电池的表面被污染后会影响到发电出力,在雨水较少、粉尘较多的地区要进行定期检查,必要时应进行清洗。相反,在雨水较多、粉尘较少的地区可借助大自然的力量而不必对太阳电池的表面进行清洗。

2. 阵列台架的检查

太阳电池阵列台架会因风吹雨淋而出现生锈、螺钉松动等现象,因此需要进行是否有铁锈、螺钉松动等检查,并进行必要的修理。另外,对于在屋顶用铁丝固定的太阳电池板,1、2个月之后应对金属部件再次进行固定以防松动,经过再固定后一般不会松动。

3. 连接箱的检查

应定期检查连接箱的外部是否有损伤、生锈的地方。另外,应打开箱门检查保护装置是否动作,如果动作应及时更换或复位。

4. 功率调节器的检查

功率调节器具有故障诊断功能,故障发生时会自动表示故障的种类等信息。如果发现有故障表示信息、发热、冒烟、异臭、异音等情况时,应立即停机并与厂家联系进行检修。

除此之外,应进行外观检查,如外箱是否变形、生锈等,是否脱落、变色,保护装置是否动作过等,还应定期对吸气口的过滤装置进

行清扫。

5. 系统并网装置的检查

系统并网装置一般安装在功率调节器中,因此应打开箱门对保护继电器进行确认。另外,需要检查备用电源的蓄电池、其他设备是否脱落、变色等。

6. 配线电缆的检查

配线电缆在安装过程中可能会造成损伤,长期使用会导致绝缘电阻的降低、绝缘破坏等问题的出现,因此需要进行外观检查等,以确保配线电缆正常工作。

10.3 太阳能光伏系统的试验方法

对太阳能光伏系统一般需进行绝缘电阻试验、绝缘耐压试验、接地电阻试验、太阳电池阵列的出力检查与测定、系统并网保护装置试验等。

10.3.1 绝缘电阻试验

为了了解太阳能光伏系统各部分的绝缘状态,判断是否可以通电,需要进行绝缘电阻试验。一般在太阳能光伏系统开始运行、定期检查以及确定事故点时进行。

绝缘电阻试验包括太阳电池电路以及功率调节器电路的绝缘电阻试验。进行太阳电池电路的绝缘电阻试验时,先用短路开关将太阳电池阵列的输出端短路。根据需要选用 500V 或 1 000V 的绝缘电阻计,使太阳电池阵列通过与短路电流相当的电流,然后测量太阳电池阵列的输出端子对地间的绝缘电阻。绝缘电阻值一般在 0.1M Ω 以上。图 10.1 为太阳电池阵列的绝缘电阻试验电路图。

功率调节器电路的绝缘电阻试验电路如图 10.2 所示。绝缘电阻计为 500V 或 1 000V,根据功率调节器的额定电压选择不同电压等级的绝缘电阻计。

试验项目包括输入回路的绝缘电阻试验以及输出回路的绝缘电

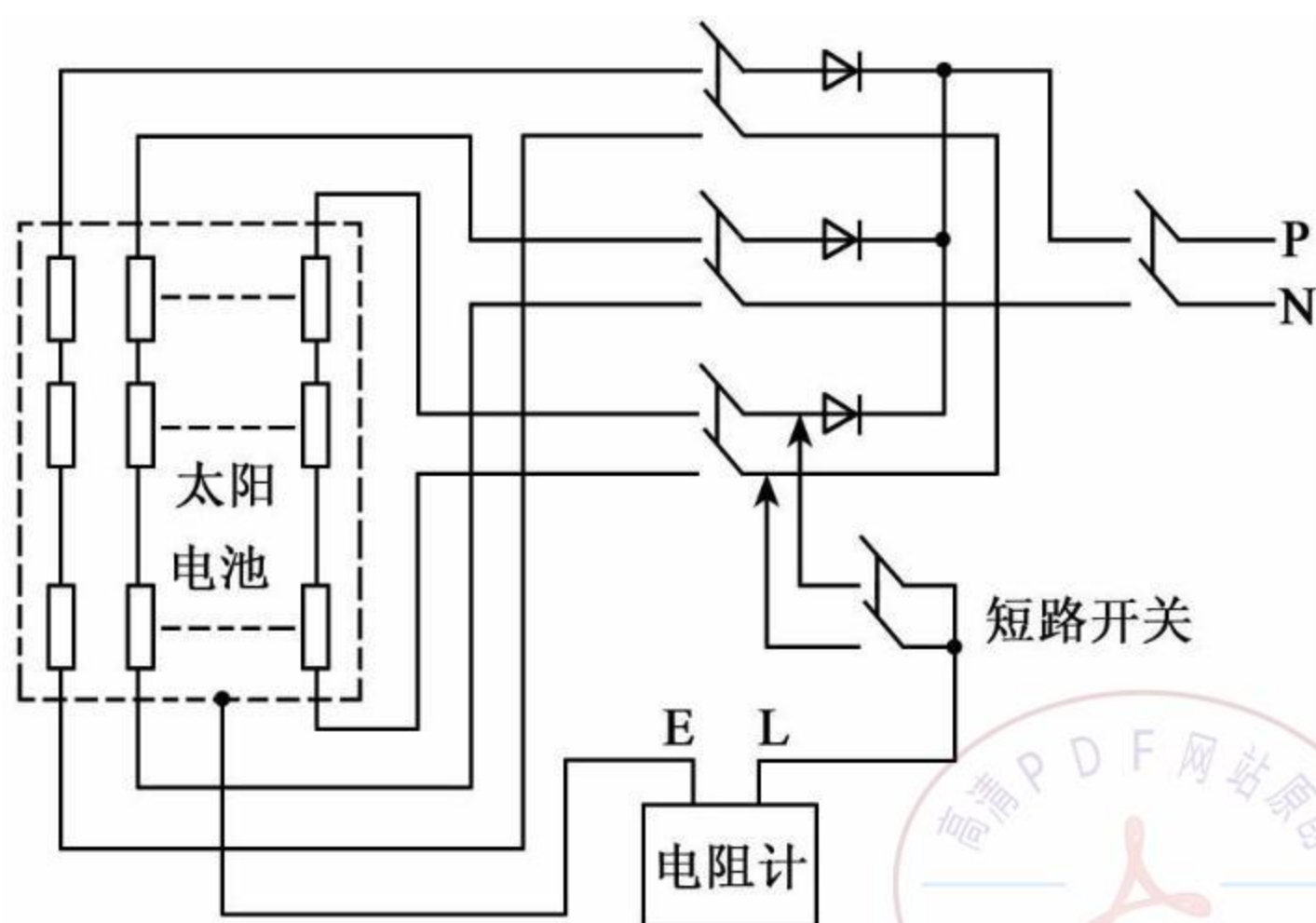


图 10.1 太阳电池阵列的绝缘电阻试验电路图

阻试验。输入回路的绝缘电阻试验时,首先将太阳电池与接线盒分离,并将功率调节器的输入回路和输出回路短路,然后测量输入回路与大地间的绝缘电阻。进行输出回路的绝缘电阻测量时,同样将太阳电池与接线盒分离,并将功率调节器的输入回路和输出回路短路,然后测量输出回路与大地间的绝缘电阻。功率调节器的输入、输出绝缘电阻值一般在 $0.1\text{M}\Omega$ 以上。

10.3.2 绝缘耐压试验

对于太阳电池阵列和功率调节器,根据要求有时需要进行绝缘耐压试验,测量太阳电池阵列电路和功率调节器电路的绝缘耐压值。测量的条件一般与前述的绝缘电阻试验相同。

进行太阳电池阵列电路的绝缘耐压试验时,将标准太阳电池阵列开路电压作为最大使用电压,对太阳电池阵列电路加上最大使用电压的 1.5 倍的直流电压或 1 倍的交流电压,试验时间为 10 分钟左右,检查是否出现绝缘破坏。绝缘耐压试验时一般将避雷装置取下,然后进行试验。

功率调节器电路的绝缘耐压试验时,试验电压与太阳电池阵列

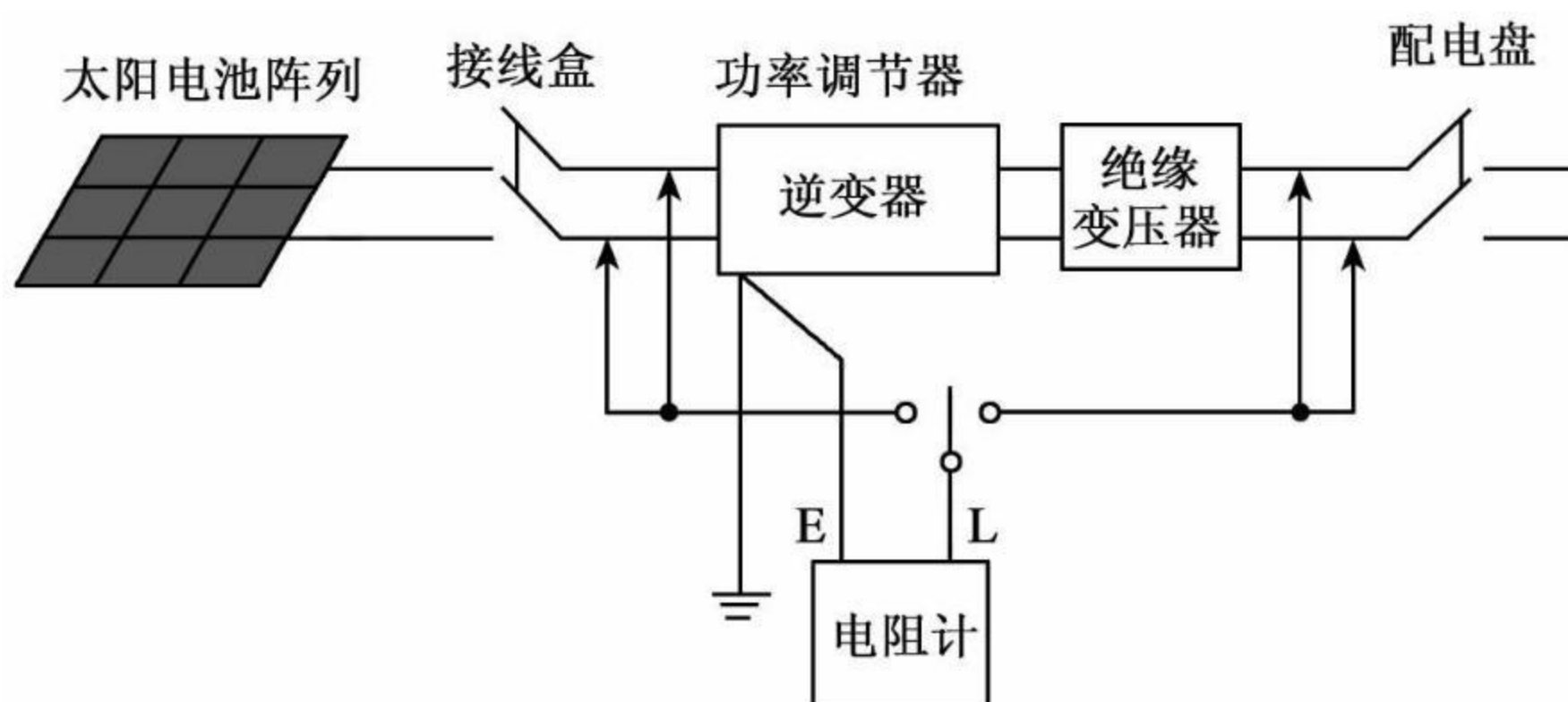


图 10.2 功率调节器的绝缘电阻试验电路图

电路的绝缘耐压试验相同，试验时间为 10 分钟，检查是否出现绝缘破坏。

10.3.3 接地电阻试验

接地电阻测量时一般使用接地电阻计、接地电极以及两个辅助电极对接地电阻进行测量，接地电阻试验的方法如图 10.3 所示。接地电极与辅助电极的间隔为 10m 左右，并成直线排列。将接地电阻计的 E 、 P 、 C 端子分别与接地电极以及其他辅助电极相连，使用接地电阻计可测出接地电阻值。

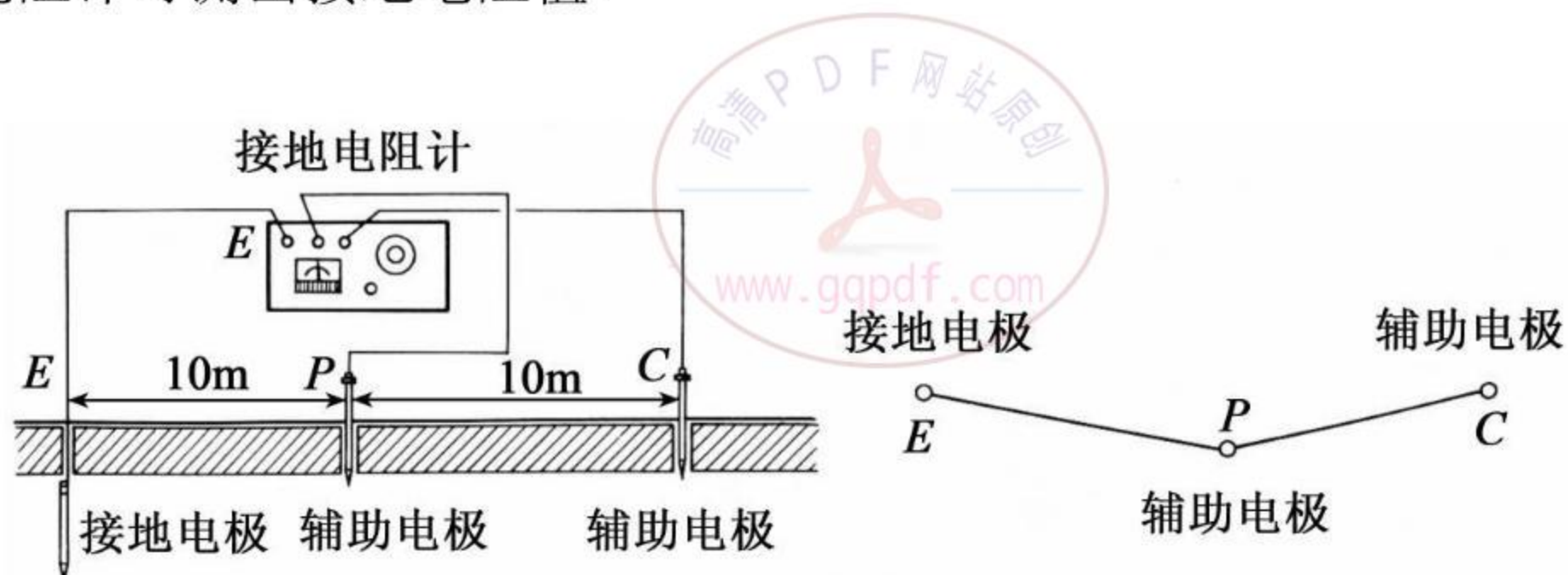


图 10.3 接地电阻试验方法

10.3.4 太阳能电池阵列的出力试验

为了使太阳能光伏系统满足所需出力,一般将多枚太阳能电池组件并联、串联构成。判断太阳能电池组件串联、并联是否有误需要进行检查、试验。定期检查时可根据已测量的太阳能电池阵列的出力发现动作不良的太阳能电池组件以及配线存在的缺陷等问题。

太阳能电池阵列的出力试验包括太阳能电池阵列的开路电压试验以及短路电流试验。太阳能电池阵列的出力试验时,首先测量各并联支路的开路电压,以便发现动作不良的并联支路、不良的太阳能电池组件以及串联接线出现的问题。太阳能电池阵列的短路电流试验可以发现异常的太阳能电池组件。

10.3.5 系统并网保护装置试验

系统并网保护装置试验包括继电器的动作特性试验以及单独运转防止功能等试验。系统并网保护装置的生产厂家不同,所采用的单独运转防止功能的方式也不同。因此,可以采用厂家推荐的方法进行试验,也可以委托厂家进行试验。



第11章 太阳能发电的课题与未来展望

太阳能发电的应用与普及面临众多有待解决的课题,如太阳电池的转换效率、电气设备以及大规模生产等课题。而这些课题几乎都与成本有关,因此降低成本是非常重要的。太阳能发电由于使用的能源是太阳能,因此将来可以建设地球规模的太阳能发电系统、宇宙太阳能发电系统。本章主要介绍太阳能发电所面临的课题以及对将来的太阳能发电系统的发展、展望。

11.1 太阳电池的转换效率的课题

太阳电池的转换效率的课题一般包括提高太阳电池单元的转换效率以及太阳电池组件的转换效率的课题。

1. 提高太阳电池单元的转换效率的课题

对于单晶硅太阳电池单元来说,提高其转换效率的方法有很多,如将太阳电池单元的底座加厚、反射防止膜的双重化使表面反射损失降低、减少电极电阻以及在太阳电池单元表面做成沟状使光不易外漏等。

如何提高单晶硅太阳电池的开路电压、单晶硅衬底的制造方法以及低成本等是其面临的课题。目前,正在研究开发数十微米厚的单晶硅太阳电池。

对于非晶硅太阳电池单元来说,存在光劣化以及转换效率等问题。为了解决这些问题,目前采用纵列结构、三层结构等,表面使用非晶硅太阳电池,在此之下使用多晶硅太阳电池构成,一方面可以解决光劣化的问题,另一方面可以提高转换效率。

2. 提高太阳电池组件的转换效率的课题

为了提高太阳电池组件的转换效率,除了提高太阳电池单元的转换效率之外,还必须增加由太阳电池单元构成的太阳电池组件的发电有效面积。这就需要在进行太阳电池单元排列时尽量减少太阳电池单元之间的间隙。目前一般用四角型的太阳电池单元代替以前使用的圆形太阳电池单元。

一般来说,太阳电池单元的面积大则转换效率低,现在 10cm 角长的太阳电池单元占主流。在不降低转换效率的前提下,提高太阳电池单元的面积是一个重要的课题。

11.2 降低电气设备成本的课题

太阳能光伏系统除了太阳电池外,还有许多其他的电气设备,如功率调节器、系统控制保护装置等。为了降低电气设备的成本,必须将电气设备及其安装、流通等费用进行综合考虑。这些费用一般占整个太阳能光伏系统费用的 50% ~ 70%,因此,降低这部分费用非常重要。

为了降低电气设备的成本,人们正在研究开发新型的建材一体型的太阳电池组件,更为简便的安装、电气配线方法,电气设备的标准化、产业化,以及建立便捷的流通、销售体制等。

11.3 太阳能发电的未来展望

太阳能发电正在得到应用与普及,但还有许多问题需要解决。目前主要研究太阳电池的转换效率、新型背面衬底型太阳电池组件、降低太阳电池阵列的价格、产业化等问题。另外,人们正在研究地球规模的太阳能发电系统以及宇宙太阳能发电。

11.3.1 转换效率

使太阳电池具有较高的转换效率一直是人们追求的目标之一。

预计到 2010 年单晶硅太阳能电池单元 (15cm 角长) 的转换效率可达 20%, 太阳能电池组件的转换效率可达 17% 以上; 而多晶硅太阳能电池单元 (15cm 角长) 的转换效率可达 17%, 太阳能电池组件的转换效率可达 15% 以上。

11.3.2 新型太阳能电池

为了提高太阳能电池的转换效率、降低太阳能电池的成本, 需要研制开发转换效率高、成本低的新型太阳能电池。例如将非晶硅与多晶硅或微晶硅的太阳能电池组合而成, 可以吸收各种不同波长的太阳光, 大大提高太阳能电池的转换效率。

11.3.3 新型背面衬底型太阳能电池组件

现在的太阳能发电系统主要使用玻璃罩表面衬底型结构的结晶系太阳能电池组件, 但随着太阳能发电系统的普及, 为了适应市场的需要, 价格低、品种多样的组件将会被人们所重视。其中, 价格较低的薄膜太阳能电池将受到关注, 利用非晶硅太阳能电池衬底的多样性、重量轻以及柔软性的特点, 将会出现新型背面衬底型太阳能电池组件。这种价格低、有望用于其他新领域的新型背面衬底型太阳能电池组件将会被应用。

11.3.4 降低太阳能电池阵列的价格

据统计, 对于 2000 年的住宅用 3kW 的太阳能光伏系统的价格来说, 其中阵列费用占价格的 68%、逆变器占 11%、其他占 8%、施工占 13%, 可见阵列的价格依然较高。随着太阳能光伏系统大量应用、普及, 必须降低太阳能电池阵列的价格。

11.3.5 太阳能电池组件的产业化

现在太阳能电池组件的价格仍然偏高。由于目前使用的太阳能电池的原料与三极管、大规模集成电路 IC 同属半导体器件, 因此, 如果大量生产太阳能电池则会大大降低成本。目前, 世界上主要建造年

产 20 ~ 40MW 的大型太阳电池厂家,主要生产非晶硅以及 CIS 系列薄膜太阳电池。预计到 2010 年太阳电池组件的成本将下降 30% 左右。

11.3.6 地球规模的太阳能发电系统

太阳能发电存在许多弱点,例如,太阳电池在夜间不能发电,雨天、阴天的发电出力会减少等,无法提供稳定的电力供给。随着科学技术的发展,超电导电缆的发明与应用,科学家提出了地球规模的太阳能发电系统。即在地球上的各地分散设置太阳能发电站,用超电导电缆将太阳能发电站连接起来构成地球规模的太阳能发电系统 (GENESIS), 如图 11.1 所示。

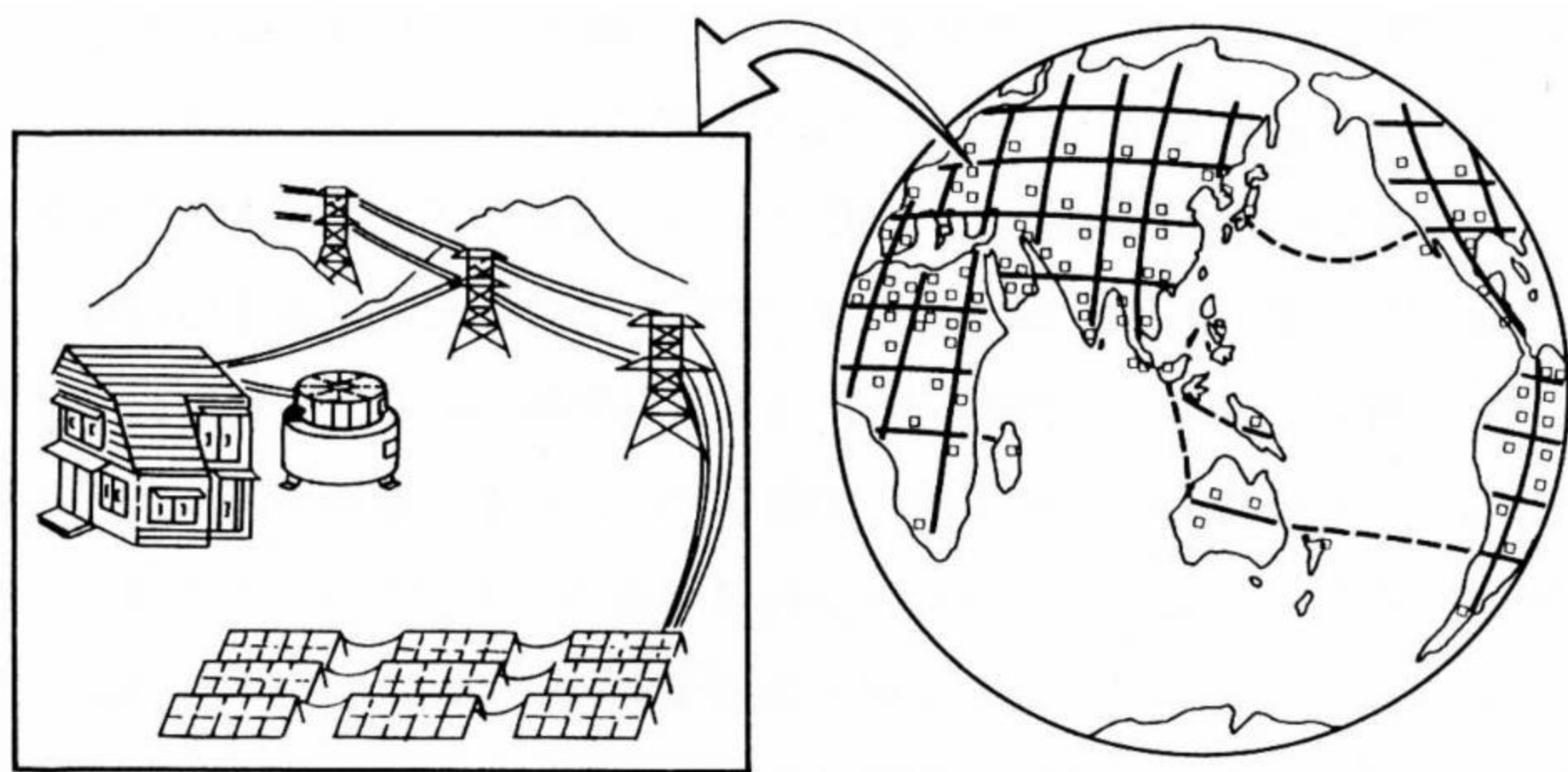


图 11.1 地球规模太阳能发电系统

地球规模的太阳能发电系统可以克服目前的太阳能发电系统的弱点。如果全世界的太阳能发电站连接成一个网络,可以将昼间地区的电力输往夜间地区使用。若将该网络扩展到地球的南北方向,无论地球上的任何地区下雨或在夜间,都可以从其他地方得到电能,可以使电能得到可靠、合理的使用。

实现这一计划还面临许多问题,从技术角度看需要研究开发高

性能、低成本的太阳电池以及常温下的超电导电缆等。

实现这一设想可以分三步进行：第一步建设小规模太阳能发电系统，由家庭或工厂屋顶安装的太阳能发电系统构成的局部地域网络；第二步将邻国之间的网络连接起来，形成各国间网络；第三步如古代丝绸之路一样将网络扩展到全世界，形成地球规模的太阳能发电系统，如图 11.2 所示。

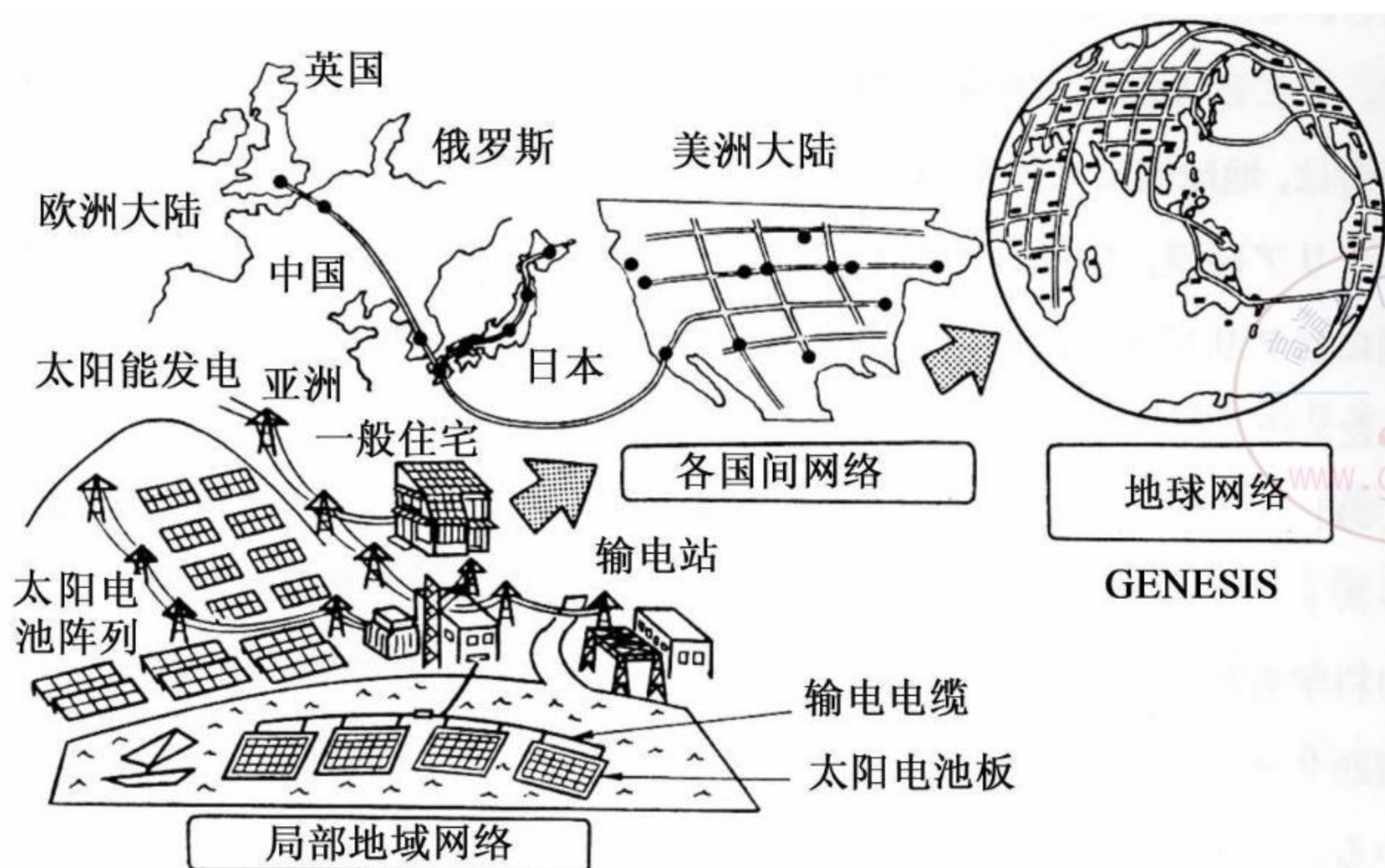


图 11.2 地球规模太阳能发电系统的设想

11.3.7 宇宙太阳能发电

在地球上应用太阳能时，太阳能的回收量受太阳电池的设置经纬度、昼夜、四季等日照条件的变化、大气以及气象状态等因素的影响而发生很大的变化。另外，宇宙的太阳光能量密度比地球上高 1.4 倍左右，日照时间比地球长 4~5 倍，发电量比地球大 5.5~7 倍。

为了克服在地面上发电的不足之处，人们提出了宇宙太阳能发电 (SSPS) 的概念。所谓宇宙太阳能发电，是将在地球上空 36 000 km 的静止轨道上的宇宙空间的太阳电池板展开，将太阳电池发出的直

流电能转换成微波,通过输电天线传输到地球或宇宙都市的受电天线,然后将微波转换成直流或交流电能,如图 11.3 所示。宇宙太阳能发电由数千 MW 的太阳电池、输电天线、受电天线、电力微波转换器、微波电力转换器以及控制系统等构成。

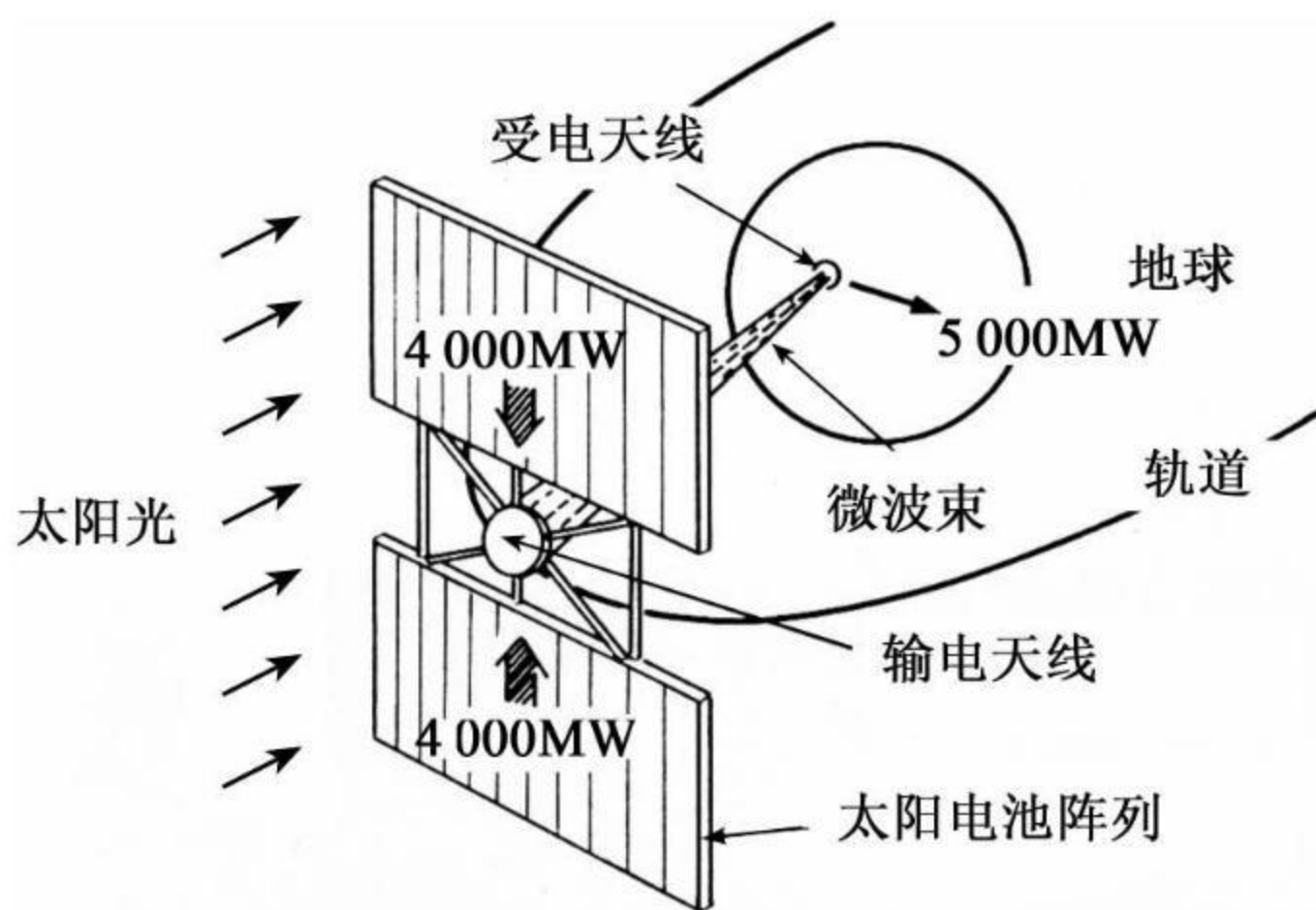


图 11.3 宇宙太阳能发电概念

参 考 文 献

本书在编写过程中参考、引用了下列书籍、文献,在此向作者表示衷心地感谢!

- (1) 太阳光发电系统设置指南 ギョコセイ
- (2) 太阳光发电初步与住宅的应用 理工图书出版
- (3) 太阳光发电导入手册 新能源、产业技术综合开发机构
- (4) 新能源设备指南 新能源财团
- (5) 太阳电池使用指南 パワ - 社
- (6) 太阳光发电系统的设计与施工 太阳光发电恳谈会
- (7) 新太阳能利用手册 日本太阳能学会
- (8) 太阳光发电设计手册 太阳光发电技术研究组合
- (9) 太阳电池 パワ - 社
- (10) 太阳电池 コロナ社
- (11) 薄膜太阳电池的基础与应用 太阳光发电技术研究组合
- (12) 中国新能源和可再生能源技术与产品 中国资源综合利用协会